

网络工程师教育丛书

城域网与广域网

Metropolitan and Wide Area Networks

刘化君 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是《网络工程师教育丛书》的第3册,系统、全面地介绍了城域网与广域网的概念、技术、构件、协议,以及远程访问与配置。全书分为9章:第一章介绍城域网基础;第二章讨论目前常用的几种宽带城域网技术;第三章介绍无线城域网(WiMAX);第四至八章分别介绍广域网基础、广域网设备与接入、物理层广域网协议、数据链路层广域网协议和高层广域网协议;第九章讨论远程访问与配置。为帮助读者更好地掌握基础理论知识和应对认证考试,各章均附有小结、练习题及测验题,并对典型题型给出解答提示。

本书是网络工程师教育培训和认证考试教材,同时可作为本科和高职院校相关课程的教材或参考书,也可供网络技术人员和管理人员以及网络爱好者阅读。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

城域网与广域网 / 刘化君等编著. —北京: 电子工业出版社, 2015.8

(网络工程师教育丛书)

ISBN 978-7-121-26229-6

I. ①城… II. ①刘… III. ①城域网—基本知识②广域网—基本知识 IV. ①TP393.1②TP393.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 120384 号

责任编辑: 张来盛 (zhangls@phei.com.cn)

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 19.75 字数: 455 千字

版 次: 2015 年 8 月第 1 版

印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 2 500 册 定价: 49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

出版说明

随着信息技术发展的日新月异,网络已经融入社会生活的方方面面,深刻改变了人们的生产、生活方式。我国互联网技术已取得了显著发展成就,网络走入千家万户,网民数量居世界第一,我国已成为网络大国。然而,我国互联网在自主创新方面还相对落后,互联网发展瓶颈仍然较为突出,重要的是如何把我国从网络大国建设成为网络强国。要建设网络强国,就要有自主、过硬的技术,还要有自己的网络工程师人才;但我国现有的网络工程师人才,还远远不能满足经济社会发展、建设网络强国的基本需求。

为适应网络工程技术人才教育、培养的需要,电子工业出版社组织本领域教授学者和工作在一线的网络专家、工程师,按照网络工程师所应具备的知识、能力要求,以及近年来网络工程师考试大纲的要求,共同编撰了这套《网络工程师教育丛书》。

《网络工程师教育丛书》全面规划了网络工程师应该掌握的技术,架构了一个比较完整的网络工程技术知识体系。丛书的编写立足于计算机网络技术的最新发展,以先进性、系统性和实用性为目标:

- ▶ 先进性——比较全面地展示近年来计算机网络技术领域的最新研究成果,做到知识内容的先进性。例如,对无线网络技术(包括 WiMAX、WiFi)、移动 IP、千兆以太网、万兆以太网、云计算以及物联网等进行较为详尽的介绍。
- ▶ 系统性——注重加强学科基础,努力拓宽知识面,各册内容之间密切联系、有机衔接、合理分配、重点突出,按照“网络基础→局域网→城域网与广域网→TCP/IP 基础→网络互连与互联网→网络设计与应用”的进阶式顺序分为 6 个课程,形成系统的知识结构体系。
- ▶ 实用性——注重工程能力的培养和知识的应用。遵循“理论知识够用,为工程技术服务”的原则,突出网络系统分析、设计、实现、管理、运行维护和安全方面的实用技术;书中配有大量网络工程案例、配置实例和实验示例,以提高读者的实践能力;每章还安排了有针对性的练习和近年网络工程师考试题,并对典型试题和练习给出解答提示,以帮助读者提高应试能力。

丛书内容涵盖计算机网络技术的各个方面,并具有平台中立性;编写时力求文字简洁,通俗易懂,图文并茂;在内容编排上既系统全面,又切合实际。

《网络工程师教育丛书》共 6 册,在知识设计上层次分明、由浅入深,读者可根据自己的需要选择相应的图书进行学习,然后逐步进阶:

- ▶ 第 1 册为网络基础,介绍计算机网络的基本概念,以及计算机之间如何通过网络实现信息的传送;
- ▶ 第 2 册围绕局域网讨论其原理和组网技术;
- ▶ 第 3 册介绍城域网与广域网的概念、技术、构件和协议;

- ▶ 第4册为TCP/IP基础,比较全面地介绍TCP/IP协议体系结构和主要的应用程序、构件和协议,以及访问互联网所需的路由技术;
- ▶ 第5册重点讨论网络互连设备以及采用这些设备进行网络互连、配置的方法,并涵盖网络管理和网络安全技术;
- ▶ 第6册介绍网络设计与应用。

本丛书是一套内容丰富,体系完整,教育和学习方法先进的网络技术教育培训教材,适合作为不同层次学历教育、职业教育和各类网络技术培训教材或参考书,也可供正在网络管理、网络规划与设计、网络工程建设、网络系统维护等岗位工作的技术人员,或希望将来走上这些工作岗位的人员自学或参考使用。我们相信,本丛书的出版,对于弥补国内高质量、高水平网络技术培训教材的短缺与不足,对于培养国家建设所需的网络专业人才,将起到积极的作用。

当然,随着技术的进步和社会的发展,本丛书还将根据读者的需求适时更新、完善。在使用本丛书的过程中,读者如有什么建议和要求,请与本丛书的策划编辑联系、沟通。联系方式: zhangls@phei.com.cn 或者 zhagls@vip.163.com。

当今世界,网络无处不在。无论是政府机构、学校还是企业,都采用了信息网络技术进行管理。可以说,网络工程师代表着广泛的网络技术和应用,具有比一般职业更多的就业机会和更高更远的发展空间。

“互联网+”时代如今已来临,或许明天,在互联网大潮的“弄潮儿”当中,就有你!

电子工业出版社

前 言

根据计算机网络延伸的距离以及用于连接结点与网络的设备类型,可以将网络分成局域网(LAN)、城域网(MAN)和广域网(WAN)等类型。其中局域网作为单独的先修课程已经讨论过,本课程主要介绍城域网和广域网。

城域网是在一个城市范围内所建立的计算机通信网;广域网则将距离很远的独立网络连接起来,它往往通过某些设备将两个或更多的局域网、城域网连接在一起。城域网、广域网在本质上都是由通信公司的通信链路连接起来的一组局域网。在本课程中,将讨论多种城域网、广域网服务,集中介绍与城域网、广域网技术相关的内容,虽然其中所涉及的原理也可以应用于其他类型的网络。

本课程的先修课程是《网络基础》、《局域网》。当然,读者若掌握了一些基本的局域连网技术、电信基础知识和 TCP/IP 概念等,则对学习本课程会有帮助。另外,计算机使用技巧,如字处理程序、浏览器和 E-mail 软件也有助于加深对本课程相关知识的理解。

本书是《网络工程师教育丛书》的第 3 册,将比较系统、全面地介绍城域网与广域网的概念、技术、构件和协议,以及远程访问与配置。全书分为 9 章,内容包括:

第一章城域网基础,在介绍网络类型的基础上,讨论城域网的分层拓扑结构,归纳总结目前宽带城域网常采用的技术方案。

第二章宽带城域网技术,讨论目前常用的几种宽带城域网技术,主要包括多业务传输平台(SDH MSTP)城域网、弹性分组环(RPR)、城域以太网和光城域网(WDM)。

第三章无线城域网,以采用 IEEE 802.16 标准的 WiMAX 为重点,介绍无线城域网的基本概念、技术和标准化等内容,主要包括 IEEE 802.16 标准、WiMAX 网络的体系结构、IEEE 802.16 物理层、IEEE 802.16 MAC 层,以及 WiMAX 的应用场景和网络组建等。

第四章广域网基础,讨论广域网中模拟和数字语音、数据综合的基本原理,重点介绍广域网要用到的一些基本概念以及远程通信网络的基础结构。

第五章广域网设备与接入,主要讨论模拟与数字传输、电路类型以及在广域内从信源向信宿传输信息的不同模式,卫星通信及广域网应用,以便了解信息是如何通过广域网传输的。

第六章物理层广域网协议,介绍广域网技术的最低层——物理层。物理层由传输比特流的介质与比特流的格式化方式构成,格式化的目的是为了便于通过物理介质发送。主要内容包括点到点链路、拨号线路和租用线路、SW56、VSTA、T-Carrier 与同步光纤网络(SONET),以及非对称数字用户线(ADSL)与线缆调制解调器等技术。

第七章数据链路层广域网协议,介绍与数据链路层有关的协议。数据链路层与从一台网络设备向另一台网络设备传输数据帧有关。主要内容包括高级数据链路滑动窗口控制机制、HDLC 协议、串行线路 Internet 协议(SLIP)和点对点协议(PPP),以及使用移动宽带连接因特网的方法等。

第八章高层广域网协议，讨论通过网络（而不是单一链路）传输信息的高层广域网协议，主要内容有综合业务数字网（ISDN）、帧中继和 X.25。另外，还将讨论广域网通信融合技术及其支持的服务，包括基于 IP 的语音传输（VoIP）等。

第九章远程访问与配置，主要讨论远程访问技术以及拨号网络的配置，内容包含基于 Windows Server®2008 的虚拟专用网（VPN）和公用交换电话网（PSTN）远程访问服务及其配置，以使远程访问客户端可以通过广域网（WAN）基础结构连接到远程访问服务器。

为帮助读者掌握基础理论知识，针对某些典型问题进行了解析，同时每章还附有小结、练习题及测验题。

本书适用范围较广，适于计算机网络和通信领域的教学、科研和工程设计参考应用，既可以作为网络工程师培训教材，也可作为计算机、电子信息、通信工程、信息技术、自动化等专业的教材或教学参考书，同时可供网络技术人员、网络管理人员、网络爱好者阅读和参考使用。

本书由刘化君、刘枫、解玉洁、邓大为、李俊龙、倪源枫、徐鸿杰和江扬编著。在编写过程中得到了众多同行和朋友的支持，他们提出了许多编撰建议，在此一并表示衷心感谢！

由于城域网、广域网技术发展很快，囿于编者理论水平和实践经验，书中可能存在不妥之处，恳请广大读者不吝赐教、批评斧正。

编著者

2015 年 3 月 18 日

目 录

第一章 城域网基础	(1)
概述	(2)
第一节 网络分类	(2)
局域网	(2)
城域网	(3)
广域网	(4)
练习	(4)
第二节 城域网的组成	(5)
城域网的概念	(5)
城域网的分层结构	(6)
练习	(7)
第三节 城域网技术方案	(8)
宽带城域网	(8)
无线城域网	(12)
练习	(12)
本章小结	(13)
第二章 宽带城域网技术	(15)
概述	(16)
第一节 MSTP 城域网	(16)
基于 SDH 的多业务传送平台 (MSTP)	(17)
VC 级联和虚级联	(19)
链路容量调整机制	(22)
MSTP 小结	(25)
练习	(25)
第二节 弹性分组环城域网	(26)
RPR 简介	(26)
RPR 工作原理	(26)
RPR 的关键技术	(28)
RPR 城域网组网	(30)

练习	(32)
第三节 城域以太网	(32)
城域以太网结构	(33)
城域以太网业务	(35)
基于 VPLS 的城域以太网	(37)
练习	(39)
第四节 光城域网 (WDM)	(39)
DWDM 与 CWDM	(40)
CWDM 在城域网中的组网方案	(41)
ASON 在城域网中的应用	(44)
练习	(45)
本章小结	(45)
第三章 无线城域网	(47)
概述	(48)
第一节 WiMAX 概述	(48)
IEEE 802.16 工作组	(49)
IEEE 802.16 系列标准	(50)
WiMAX 论坛	(52)
WiMAX 系统关键技术	(52)
WiMAX 主要技术参数	(54)
练习	(55)
第二节 WiMAX 体系结构	(56)
WiMAX 网络组成	(56)
WiMAX 网络参考模型	(57)
WiMAX 网络实体	(58)
WiMAX 网络接口	(59)
IEEE 802.16 协议栈参考模型	(60)
WiMAX 支持的两种网络拓扑结构	(62)
练习	(64)
第三节 WiMAX 物理层	(64)
WiMAX 物理层关键技术	(65)
TDD/FDD	(66)
固定 WiMAX 物理层	(66)
移动 WiMAX	(70)

练习	(72)
第四节 WiMAX MAC 层	(72)
WiMAX MAC 子层简介	(72)
MAC 协议数据单元 (PDU) 格式	(75)
WiMAX 初始化过程	(76)
练习	(76)
第五节 WiMAX 网的组建	(77)
WiMAX 应用场景	(77)
WiMAX 组网方案	(79)
WiMAX 与现有网络的联合组网	(81)
练习	(83)
本章小结	(84)
第四章 广域网基础	(85)
概述	(86)
第一节 电信网络	(86)
电信网络的发展	(86)
不只是文字通信	(87)
练习	(87)
第二节 语音网络及技术	(88)
模拟网络的连接	(88)
干线的减少	(89)
模拟技术	(90)
频分多路复用 (FDM)	(91)
双工通信	(92)
练习	(93)
第三节 语音网络上的计算机信号	(93)
模拟信号和数字信号	(94)
调制解调器	(94)
典型问题解析	(95)
练习	(96)
第四节 语音信号的数字化	(96)
模拟到数字	(96)
多路复用	(97)
时分复用	(98)

波分复用	(98)
练习	(99)
第五节 广域网的组成	(100)
广域网的数据传输	(100)
广域网接入方案	(101)
练习	(102)
本章小结	(102)
第五章 广域网设备及接入	(105)
概述	(106)
第一节 广域网交换技术	(106)
电路交换	(106)
虚电路交换	(107)
包交换	(109)
光交换	(110)
练习	(110)
第二节 广域网设备	(110)
数据通信设备	(111)
常用的广域网设备	(111)
连接到广域网的电路	(112)
练习	(113)
第三节 连接到模拟网络	(114)
调制解调器	(114)
调制与解调	(117)
调制解调器的同步	(120)
练习	(123)
第四节 连接到数字网络	(124)
DTE 和信道服务单元接口	(124)
数据电话数字服务	(125)
练习	(125)
第五节 卫星通信	(126)
连接到卫星	(126)
卫星设备	(127)
卫星频率范围	(127)
卫星的特点	(127)

卫星和轨道	(128)
通信卫星带宽	(128)
卫星协议	(128)
卫星应用	(130)
练习	(130)
第六节 广域网应用	(130)
练习	(132)
本章小结	(132)
第六章 物理层广域网协议	(135)
概述	(136)
第一节 数据速率及相关应用	(136)
点到点链路	(136)
各种数据速率及相关应用	(137)
带宽	(138)
练习	(139)
第二节 拨号线路和租用线路	(139)
拨号连接	(139)
租用线路	(140)
数字数据服务 (DDS)	(141)
练习	(142)
第三节 SW56 技术	(143)
SW-56 服务	(143)
SW56 操作	(144)
练习	(144)
第四节 甚小口径终端 (VSAT)	(145)
VSAT 网的组成	(145)
卫星应用	(147)
练习	(147)
第五节 T 载波	(147)
T1、FT1 和 T3	(147)
线路成本	(153)
练习	(153)
第六节 ADSL	(154)
ADSL	(154)

本地高速因特网访问接入方案	(157)
练习	(158)
第七节 线缆调制解调器	(158)
线缆调制解调器技术	(159)
ADSL 与线缆调制解调器应用比较	(160)
练习	(161)
第八节 同步光纤网	(161)
同步光纤网 (SONET) 标准	(162)
SONET 协议结构	(162)
SONET 多路复用	(164)
SONET 帧格式	(165)
SONET 网络组件	(167)
练习	(169)
本章小结	(169)
第七章 数据链路层广域网协议	(173)
概述	(174)
第一节 数据链路控制	(174)
数据链路层的功能	(174)
数据链路控制机制	(175)
可靠的广域网络	(180)
练习	(181)
第二节 HDLC 协议	(182)
HDLC 基本概念	(182)
HDLC 帧格式	(184)
典型问题解析	(186)
练习	(187)
第三节 SLIP 和 PPP	(188)
SLIP	(188)
压缩的 SLIP	(189)
点到点协议 (PPP)	(189)
练习	(191)
第四节 连接到因特网	(191)
连接到因特网可能用到的协议	(192)
利用移动宽带连接到因特网的配置操作	(193)

练习	(194)
本章小结	(194)
第八章 高层广域网协议	(197)
概述	(198)
第一节 ISDN	(198)
ISDN 的概念	(199)
ISDN 协议	(201)
典型问题解析	(207)
练习	(209)
第二节 帧中继	(209)
帧中继的概念	(210)
帧中继协议	(212)
帧中继的实现	(216)
典型问题解析	(221)
练习	(222)
第三节 X.25	(223)
X.25 服务	(224)
X.25 协议	(224)
包装拆器 (PAD)	(225)
PLP	(226)
开销和性能的局限性	(228)
典型问题解析	(228)
练习	(229)
第四节 基于广域网技术的通信融合	(229)
语音传输技术	(230)
VoIP 网络构件	(231)
专用 VPN	(235)
练习	(237)
本章小结	(239)
第九章 远程访问及配置	(243)
概述	(244)
第一节 远程访问技术	(244)
远程访问概述	(245)
常用远程访问配置	(246)

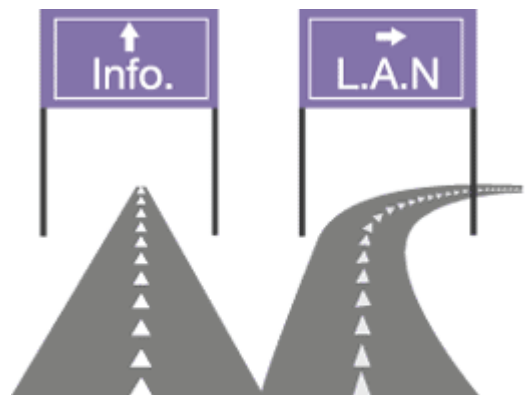
远程访问拨号连接的组件	(249)
安装和启用路由和远程访问服务	(251)
练习	(253)
第二节 配置 VPN 远程访问服务	(254)
配置的准备工作	(254)
VPN 服务器的配置	(255)
为用户账户分配远程访问的权限	(261)
配置 VPN 客户机	(262)
练习	(267)
第三节 配置拨号远程访问服务	(268)
配置远程访问服务器支持拨号连接	(268)
为用户账户分配远程访问权限	(272)
配置用于远程访问的端口	(273)
创建静态 IP 地址池	(274)
路由和远程访问服务器与 DHCP 一起使用	(274)
练习	(276)
本章小结	(276)
附录 A 课程测验	(279)
附录 B 术语表	(283)
参考文献	(301)



第一章

城域网基础

- 1 网络分类
- 2 城域网的组成
- 3 城域网技术方案



概 述

最初,城域网是作为一种专门的网络技术,即分布式队列双总线(DQDB)技术而出现的。城域网的概念泛指:网络运营商在城市范围内提供各种信息服务业务的所有通信网络。它是以宽带光传输网络为开放平台,以TCP/IP协议为基础,通过各种网络互连设备,实现语音、数据、图像、多媒体视频、IP电话、IP接入和各种增值服务与智能服务,并与广域计算机网络、广播电视网、电话交换网互联互通的本地综合业务网络。

随着通信技术的快速进步,局域网技术的性能和功能得到大幅度的提高和丰富,因而被广泛应用在城域网和广域网中。与此同时,广域网技术也常常应用于局域网和城域环境。所以目前流行的宽带城域网已经不是一种特定的技术,而是一种概念,或者说是各类网络技术在城域网范围内的综合应用。

本章在介绍网络类型的基础上,讨论城域网的分层拓扑结构,简单介绍目前宽带城域网常采用的几种技术方案:

- ▶ 多业务传送平台(MSTP)城域网;
- ▶ 弹性分组环(RPR)城域网;
- ▶ 城域以太网;
- ▶ 光城域网(WDM)。

第一节 网络分类

依据延伸的距离以及用于连接结点与网络的设备类型,可以将网络分成3种不同的类型:局域网(LAN)、城域网(MAN)与广域网(WAN)。本节将介绍这几种主要网络类型。

学习目标

- ▶ 了解对计算机网络进行分类的常用术语;
- ▶ 掌握城域网的基本概念和功能,了解不同网络类型之间的区别。

关键知识点

- ▶ 城域网的基本概念和功能。

局域网

一个局域网(LAN)可以包含几个结点,如图1.1所示,也可以包含几百个结点。但是局域网一般是局限在一个建筑物内的。可以将几个网段以特定方式连接起来,组成一个更大的局

域网。网段是网络的一部分，其中的所有结点都直接连接在一起。例如，所有的结点可以通过导线连起来，也可以连接到中心集线器或交换机。

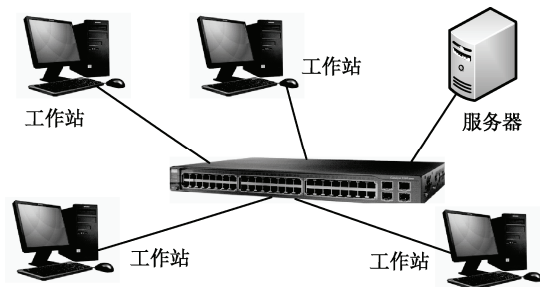


图 1.1 局域网

不同的局域网，其规模和连接的计算机数量是不同的。但是，它们通常是由一个建筑物内的计算机组成的。当一个单位内的计算机需要跨越多个建筑物进行连接时，整个计算机集合通常被称为园区网（Campus Network）。因此，园区网是由几个局域网以某种方式连接在一起而形成的覆盖整个园区的网络。

在单位的网络设施中，将一些局域网连接到另外一些局域网就可以建立园区网。换句话说，将局域网连接到一起以形成园区网的连网设备是属于某个单位的。如果所有的连网设备属于一个单位，就将这些设备称为专用设备。图 1.2 显示了一个典型的园区网。

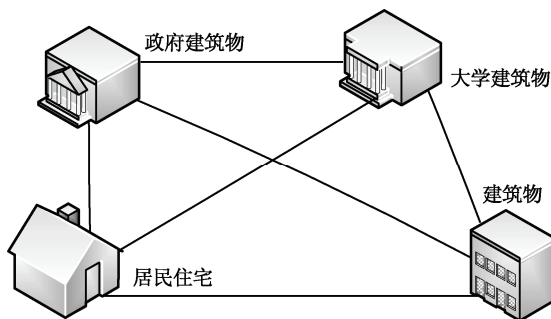


图 1.2 园区网

城域网

城域网（MAN）是在一个城市范围内所建立的计算机通信网，其传输介质主要采用光缆，传输速率在 100 Mb/s 以上。MAN 的一个重要用途是用作骨干网，通过它将位于同一个城市内不同地点的主机、数据库以及 LAN 等互相连接起来，这与 WAN 的作用有相似之处，但两者在实现方法与性能上有很大差别。MAN 不仅用于计算机通信，同时可用于传输语音、图像等信息，成为一种综合利用的通信网，但属于计算机通信网的范畴。

MAN 主要是数据通信公司（电信公司）为了适应城市范围内局域网互连的需要而开发的。例如，一个公司可能要通过本地电信公司提供的服务，将它在全市范围内的几个办公室连接到一起。城域网和园区网的一个主要区别是园区网采用专用设备为各个局域网提供互连，而城域网采用公用设备为城区内各个局域网提供互连。

广域网

将某个地域内或者全球的局域网连接在一起，可以形成更大的网络，称为广域网（WAN）。为了连接多个城市的局域网，往往既需要使用本地公用通信设备，也需要使用长途公用通信设备。一个典型的跨越多个城市的广域网如图 1.3 所示。在每个城市中，可能有局域网、园区网和城域网连接。网络的广域网部分是提供城市间通信的连接。当有信息发送给另外一个城市的计算机时，信息才通过网络的广域网部分传输。

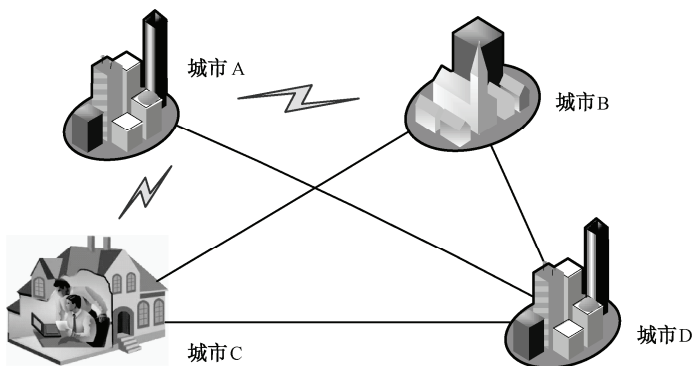


图 1.3 典型的广域网

广域网通常是网络中应该详细研究的部分，因为它的价格最昂贵。综合连网的许多方面来考虑，设备速度越快，其价格就越高，广域网通常也是这样。随着广域网电路速度的提高，电路的成本也会增加。用各种广域网电路和设备连接局域网，有多种选择方案。

练习

1. 一个城市南部的一组计算机与市中心的另外一组计算机连接在一起。可以将这个网络称为（ ）：
a. 广域网 b. 城域网 c. 局域网 d. 园区网
2. 一个多层建筑中一组计算机连接在一起，可以称之为（ ）：
a. 广域网 b. 城域网 c. 局域网 d. 园区网
3. 描述企业在成长过程中是如何需要本节介绍的几种不同类型的网络的。
4. 讨论本节描述的网络类型之间的主要区别。介绍你单位使用的网络类型。

补充练习

1. 确定你所在的单位目前使用的是哪种类型的局域网。
2. 确定你所在的单位是否有园区网。
3. 描述你所在的单位网络的局域网和园区网特性。
4. 确定你所在的地区可使用的广域网服务，可以通过 Internet 或者电话号码本查询。

第二节 城域网的组成

城域网作为一座用于将用户和企业的网络与广域网相连的桥梁，位于骨干网与接入网的交汇处，是通信网中最复杂的应用环境，各种业务和各种协议都在此汇聚、分流和进出骨干网。多种交换技术和业务网络并存是城域网建设所面对的最主要的问题。

学习目标

- 掌握城域网的组成结构。

关键知识点

- 环状结构是目前城域网采用的主要拓扑结构。

城域网的概念

城域网只是一座用于将用户和企业的网络与广域网相连的桥梁。采用城域网服务的不同实体包括居民和企业用户，例如，大型企业（LE）、小型办公室/家庭办公室（SOHO）、中小型企业（SMB）、多租户单元（MTU）和多住户单元（MDU），如图 1.4 所示。

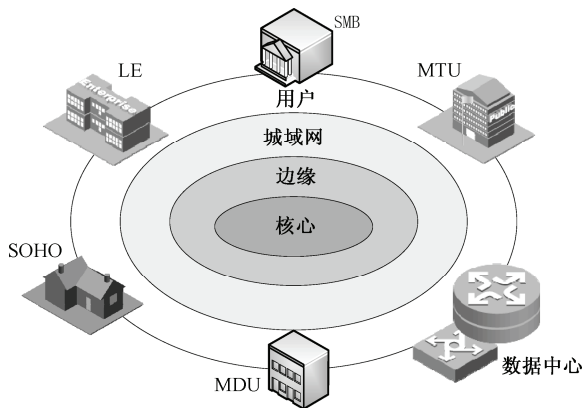


图 1.4 城域网示意图

城域网与客户接触的部分称为“最后一公里”，表明这是运营商网络的最后桥梁；在 IT 业界也将这最后的桥梁称为“宽带接入的最后一公里”，但“最终前线”的说法也许最为恰当。

初期，典型的城域网采用时分复用（TDM）技术组建，这种技术是提供语音服务的较佳选择。从 TDM 角度来看，城域网的部署方案如图 1.5 所示。这种方案给出了网内和网外的企业/用户的连通性。网内指光纤已经连接到建筑物内，网络运营商已在建筑物内安装了 SONET/SDH 分插复用器（ADM），而且向建筑物中的不同用户提供 T1 或 DS3/OC n 线路。在这种情况下，M13 之类的数字复用器就可以对多个 T1 进行复用，当作 DS3 来使用；或者对多个 DS3 进行复用，当作 OC n 线路来使用。这些 DS3 和 OC n 是由连接到中心局（CO）的 SONET/SDH 光纤环来承接的。在网外，光纤未连接到建筑物内，而是通过在 CO 中将铜线 T1 或 DS3 线路聚合在一起来实现连通性的。聚合在一起的线路是在一个与其他 CO 相连的 CO 中交叉连接的。在中心 CO 中，根据所提供的不同服务，线路中的传输将告终止，或继续穿过 WAN。

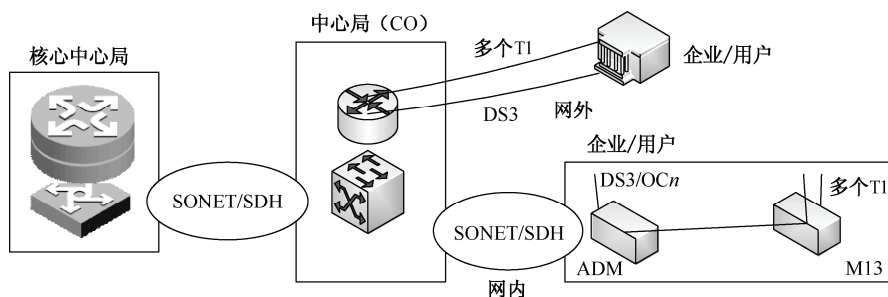


图 1.5 从 TDM 的角度看城域网的部署方案

城域网的分层结构

根据以上讨论，环状结构是目前城域网采用的主要拓扑结构，且可以把城域网的网络结构分为 3 层：

- ▶ 核心层；
- ▶ 汇聚层；
- ▶ 接入层。

城域网的分层结构如图 1.6 所示。

核心层也称为骨干层，主要提供高带宽的业务承载和传输，完成和现有网络（如 ATM、SDH、DWDM、FR、DDN、IP 网络）的互联互通，其特征为宽带传输和高速调度。

汇聚层是核心层与接入层之间的桥梁和中介，是核心层的延伸，其主要功能是给业务接入结点提供用户业务数据的汇聚和分发处理，同时要实现业务的服务等级分类。

接入层的作用是利用多种接入技术将终端用户接入到宽带城域网。目前，常用的宽带接入技术有 XDSL（ADSL、VDSL）、Cable Modem 接入、10/100/1000（Mb/s）以太网接入和无线

本地多点分配业务（LMDS）等。这些接入技术有效地解决了“宽带接入的最后一公里”问题。

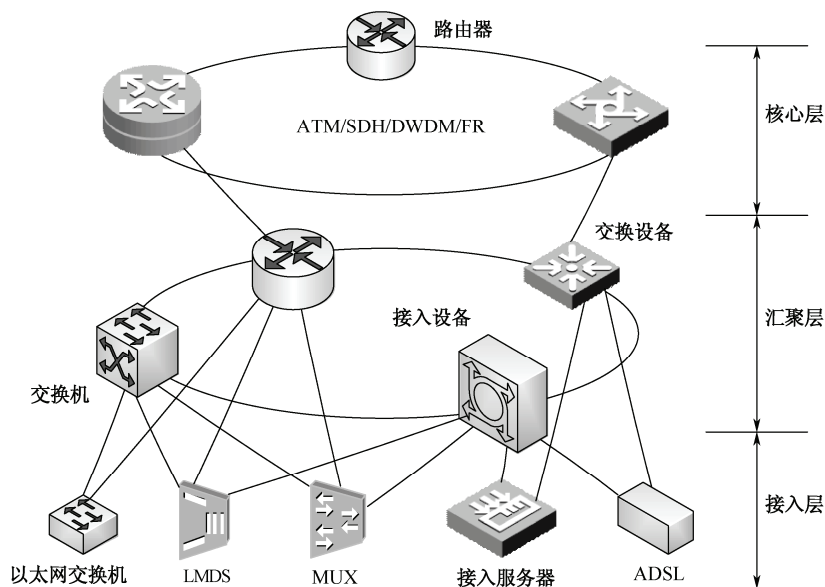


图 1.6 城域网的分层结构

把城域网分为3层并不是固定的，这与城市规模、业务类型等一系列因素都有关系。在中小城市，则可以简化为两层，只有核心层、接入层（汇聚层和接入层综合在一起）；而在另外一些城市，可能汇聚层与核心层集成在一起，只有汇聚层与接入层。运营商可以根据自己的网络规模、业务来分别决定网络的层次。

一般来说，城域网包括了城域光传送网、宽带数据骨干网、宽带接入网和宽带城域综合业务网络等几个层面。新一代的宽带城域网以多业务的光传送网为开放的基础平台，在其上通过路由器、交换机等设备构建宽带数据骨干网络，通过各类网关、接入设备实现语音、数据、图像、多媒体、IP业务接入和各种增值业务及智能业务，并与各运营商的长途骨干网互通，形成本地市综合业务网络，承担城域范围内集团用户、商用大楼、智能小区的业务接入和电路出租业务，具有覆盖面广、投资量大、接入技术多样化、接入方式灵活，以及强调业务功能和服务质量等特点。

练习

1. 描述典型城域网的分层结构，并说明各层的功能。
2. 关于城域网的环状结构说法不正确的是（ ）。
 - a. 使用环状结构可以简化光纤的配置
 - b. 使用环状结构具有良好的可扩展性
 - c. 容易提供多点到点的服务

d. 使用环状结构可解决网络保护机制与带宽共享等问题

【解答提示】环状结构是目前城域网采用的主要拓扑结构。在典型的核心交换层有 3~10 个结点的城域网中,使用环状结构可以简化光纤的配置,并解决网络保护机制与带宽共享等问题。与多点到点结构相比,环状结构将使接入点和汇聚点具有更好的可扩展性;与网状结构相比,环状结构更容易提供多点到点的业务。

因此,参考答案是选项 c。

补充练习

1. 通过 Web 查找城域网的相关资料,总结城域网的组成。
2. 通过 Internet 或者电话号码本查询,确定你所在地区可使用的城域网业务。

第三节 城域网技术方案

随着多媒体通信业务的普及应用,宽带城域网的建设已经步入快速发展轨道。目前宽带城域网技术方案主要有以下几种:

- ▶ 新一代多业务传输平台(SDH MSTP)城域网;
- ▶ 弹性分组环(RPR)城域网;
- ▶ 城域以太网;
- ▶ 光城域网(WDM);
- ▶ 宽带无线城域网。

学习目标

- ▶ 掌握组建宽带城域网的常用技术方案。

关键知识点

- ▶ 城域网不仅是连接传统电信网与接入网的桥梁,更是传统电信网络与宽带数据网络的汇接点,以及电信网、广播电视网、互联网三网融合的基础。

宽带城域网

随着技术的发展和应用需求的不断增加,网络业务的种类也不断发展和变化着,从传统的语音业务到图像和视频业务,从基础的视听服务到各种各样的增值业务,从 64 kb/s 的基础服务到 2.5 (Gb/s) /10 (Gb/s) 的租线业务,各种业务层出不穷。不同的业务有不同的带宽需求和服务需求。从业务服务质量(QoS)的角度来看,业务大致可以分为以下几种类型:

- ▶ 高服务质量的语音业务和视频业务;

- ▶ 大客户专线;
- ▶ 数据通信网 (DCN) 的数据业务;
- ▶ 各种数据增值业务;
- ▶ 互联网业务。

每种类型的业务所要求的服务等级是不同的, 安全保护级别也不同。随着互联网业务以及各种增值业务的不断发展, 城域网要求的带宽也越来越宽, 基于 SDH 的传统城域网成为宽带业务发展的瓶颈。此外, 多种类型的业务对城域网的综合接入和处理, 也提出了较高的要求。总的来说, 分组化和宽带化是业务的发展趋势。针对不同的城域网业务需求, 目前主要的宽带城域网技术方案主要有:

- ▶ MSTP 城域网;
- ▶ 弹性分组环城域网;
- ▶ 城域以太网;
- ▶ 光城域网。

MSTP 城域网

多业务传送平台 (MSTP) 是基于 SDH 平台技术开发的具备二层透明传输功能的传送平台。MSTP 实现了虚级联 (VC)、链路容量调整机制 (LCACS) 等技术, 同时可以内嵌弹性分组环 (RPR) 等二层处理技术, 在集成了 IP 路由、以太网、帧中继或 ATM 后, 可以通过统计复用来提高时分复用 (TDM) 通路的带宽利用率, 减少局端设备的端口数。MSTP 很好地继承了 SDH 的高可靠性、高 QoS 的特点, 同时能够直接支持 IP 业务, 提供快速以太网 (FE)、千兆以太网 (GE) 接口。此外, MSTP 还可以通过内嵌 RPR 或者多协议标记交换 (MPLS) 等处理技术, 实现 IP 的增强功能, 并提供端到端的差异化服务。最后, MSTP 还可以方便地完成协议终结和转换功能, 使运营商可以在网络边缘提供多种不同业务, 而且可以同时将这些业务的协议转换成为其特有的骨干网协议。

MSTP 解决方案由于涉及多层帧的映射, 导致带宽效率较低, 开销处理复杂。这种方案基于同步工作, 抖动要求严, 设备成本较高。此外, 这种结构带宽配置时间仍较长。MSTP 毕竟是基于 SDH 的平台, 其 TDM 的交叉矩阵必然会限制 IP 化业务的使用效率。随着 TDM 业务的逐步消退和 IP 业务的快速增长, 基于 SDH 的多业务传送平台 (MSTP) 的作用将会弱化。

弹性分组环 (RPR) 城域网

随着用户需求的不断增长, 传统的基于 TDM 的 SDH 城域网已经不能满足多种新业务 (尤其是数据业务) 的接入需求。同时, 3G 网络也对城域网的发展提出了挑战, 3G 网络能够根据用户的不同需求提供不同 QoS 保证的业务。显然, 传统的 SDH 和以太网技术不能满足这些需求。

为提高城域网的传输性能, IEEE 802.17 工作组基于如何合理地配置城域网的拓扑结构, 提出了弹性分组环 (RPR)。RPR 是一种新兴的网络结构和技术, 是为了满足基于分组的城

域网的要求而设计的。它采用一种由分组交换结点组成的环状结构，相邻结点通过一对光纤连接。其网络拓扑基于两个反向传输的环。外环（又称 0 环）顺时针、内环（又称 1 环）逆时针同时双向传输数据，各环传输另外一个反向环的控制信息。结点间的链路是基于光纤的，而且可以采用 WDM 来扩容。

RPR 借鉴了 SONET/SDH 环网的概念，是一种环网技术，只能工作在环状拓扑中。在 RPR 中，终端用户被连接到类似于上下路复用器的 RPR 设备上。在每个结点处，业务可以直通（直接被传送到下一结点而不发生任何改变）、下路（从环网传送到终端用户处）或者上路（从终端用户处传送到环网）。

RPR 是一种二层技术，它可以使用以太网或者 SONET/SDH 作为传送介质，但实际应用中 RPR 大都采用 SONET/SDH 作为其传送平台。

RPR 比 SONET/SDH 和企业级以太网有了进一步的改善。与 SONET/SDH 相比，RPR 更好地解决了数据业务的突发问题，同时避免了 TDM 技术中的业务粒度问题。由于 RPR 只是一种接入技术，因此端到端的性能将取决于网络边缘和核心设备的性能。

与企业级以太网相比，RPR 可以满足电信级要求。例如，为了支持带有业务等级协议（SLA），RPR 采用了确定的共享介质。在这种情况下，接入环网中每个结点的可用带宽都是可知的，因此可以使用协议带宽提供各种业务。而在网络的其他部分（如果需要），可以使用其他机制。

当接入环网中发生光纤断裂或设备故障时，RPR 可以采用“环回”和“源路由”机制实现 50 ms 的保护。在正常工作时，预留的保护带宽可以用于传送尽力而为型业务。如果网络其他部分需要故障保护，则必须使用边缘和核心保护机制。

RPR 可以采用 SONET/SDH 作为传送平台，所以它能够很自然地在接入环网中集成原有的 TDM 业务，如 E1/T1 和 DS-3，同时具有业务提供和监控等基本功能。由于每个结点都知道环网中的可用带宽，因此在业务的起始和终端结点就可以提供业务接入。同样，在业务端点也可以实现 SLA 监控。然而在网络的其他部分，必须采用各种现有机制来实现业务提供。

目前，作为一种针对资料业务优化的技术，RPR 主要用于升级接入环网，以延长现有 SONET/SDH 网络的生命周期。在大多数实际应用中，RPR 主要用于 SONET/SDH 传送平台之上，与 SONET/SDH 边缘和核心设备集成在一起，在接入环网中同时传送 TDM 和分组数据业务。

除了只能用于环状拓扑之外，RPR 还有其他限制。很多城域网需要结合使用环状、网状和树状拓扑，以满足实际应用的需要，而 RPR 很难满足这种要求。而且，由于 RPR 使用环状拓扑，当环中两个结点之间的带宽需求增加时，整个环网的带宽都需要进行升级。RPR 的保护机制位于网络层。它缺少对于单个业务和单个用户的保护粒度，因此造成了不必要的网络资源浪费，同时也减少了所能提供的业务类型。

城域以太网

城域以太网也称为增强型以太网，它是将局域以太网应用到电信网的技术。

城域以太网论坛 城域以太网论坛（MEF）是由网络设备制造商和网络运营商组成的非营利性组织，专注于解决城域以太网技术问题。MEF 的目的是要将以太网技术作为交换技术和传输技术，广泛应用于城域网建设。MEF 主要从四个方面开展技术工作：

- ▶ 城域以太网的架构——提出了独立于各种技术的城域以太网的体系结构和 UNI 参考点；
- ▶ 城域以太网提供的业务——主要从用户的角度定义城域以太网的业务框架；
- ▶ 城域以太网的保护和 QoS——针对城域以太网提出了保护模式、机制和 QoS 功能框架，即定义了执行和维护 SLA 所需的 QoS 功能和特性；
- ▶ 城域以太网的管理——提出了城域以太网的网络管理接口（EMS-NMS），并从网络分层、子网划分、子网拓扑、网络连接四个方面对 EMS-NMS 接口进行规范。

而 MEF 的承载以太网技术规范提出了以下几种业务：

- ▶ 以太网专线（EPL）；
- ▶ 以太网虚拟专线（EVPL），在一对用户以太网之间通过第三层技术提供点对点的虚拟以太网连接；
- ▶ 以太网局域网服务（E-LAN Services）。

E-LAN 服务 提供 E-LAN 服务的基本技术是 IEEE 802.1q 的 VLAN 帧标记。这种技术定义在 IEEE 802.1ad 的运营商网桥协议中，称为 Q-in-Q 技术。

IEEE 802.1ah 标准 Q-in-Q 实际上是把用户 VLAN 嵌套在城域以太网的 VLAN 中传送，所有用户的 MAC 地址在城域以太网中都是可见的，这使得网络安全受到威胁。因此，IEEE 802.1ah 标准提出了运营商主干网桥（PBB）协议。

光城域网（WDM）

光城域网（WDM）是一种基于波分复用技术的多业务平台方案。密集波分复用（DWDM）技术在广域网的应用中获得巨大成功，已成为主流，但是不能简单地将广域网 DWDM 方案用于城域网。WDM 城域网与长途 WDM 有着不同的发展动因和特点。WDM 应用于长途传输的最大价值就是节省昂贵的长途光纤资源。在城域网中，由于传输距离短，敷设光纤的造价比长途干线要低廉得多，这样结点设备就成为城域传输网成本中占主导地位的因素；虽然节省光纤对于某些城域网或某些区段来说也很有意义，但业务的灵活性、可管理性和降低设备成本对于城域网应用更为重要。

光城域网（WDM）的特点是能在同一平台上支持多业务，对速率与协议要透明，设备价格要低廉，有良好的扩展性以适应城域业务需求的多变性。在城域网中，由于传送距离短，所要求的容量不是很大，因此可以使用较为低廉的稀疏波分复用（CWDM）技术来实现。发展 WDM 城域网不但能为城域 IP 网/以太网的发展提供强大的带宽支撑，而且在灵活性、安全性和提高资源利用率等方面，与单纯的光纤直连方式相比都有很大的优势。此外，利用 WDM 还可以开展按需带宽（BoD）、波长批发、波长出租、光虚拟专用网（OVPN）、光组播等新业务。

虽然 WDM 技术有很多优点,但其保护技术不如 SDH 灵活。此外,波长管理能力及分等级服务能力也有待提高。所以,目前 WDM 在城域网中的应用还有不足之处,不过随着业务需求的增长及光交叉连接器(OXC)、可重构光分插复用器(OADM)的逐步成熟,WDM 在城域网络中将会发挥越来越重要的作用。

无线城域网

宽带无线接入(BWA)技术早在 20 世纪 90 年代就已经开始发展和应用。多年来,IEEE 802.11 x 技术一直与许多其他专有技术一起用于 BWA,并获得了很大成功,但 WLAN 的总体设计及特性并不能很好地适用于室外的 BWA。当 BWA 用于室外时,在带宽和用户数方面受到了限制,同时还存在着通信距离等问题。为了满足日益增长的宽带无线接入(BWA)需求,IEEE 决定制定一种新的、更复杂的全球标准,这个标准应能同时解决物理层环境(室外射频传输)和 QoS 等问题,以满足 BWA 接入需要。

1999 年,IEEE 设立了 IEEE 802.16 工作组,其主要工作是建立和推进全球统一的无线城域网技术标准。在 IEEE 802.16 工作组的努力下,相继推出了 IEEE 802.16、IEEE 802.16a、IEEE 802.16b、IEEE 802.16d 等一系列标准。为了使 IEEE 802.16 系列技术得到推广应用,IEEE 于 2001 年成立了 WiMAX 论坛组织,因而相关无线城域网技术又被称为“WiMAX 技术”。

IEEE 802.16 标准定义了无线城域网(WMAN)空中接口规范。这一无线宽带接入标准为无线城域网的“最后一公里”连接提供了不可缺少的一环。WiMAX 技术的物理层和介质访问控制层(MAC)技术基于 IEEE 802.16 标准,可以在 5.8 GHz、3.5 GHz 和 2.5 GHz 这三个频段上运行。WiMAX 利用无线发射塔或天线,能提供面向互联网的高速连接。其接入速率最高可达 75 Mb/s,超过有线 xDSL 技术,最大距离可达 50 km,覆盖半径达 1.6 km,它可以替代现有的有线和 DSL 连接方式,提供最后一公里的无线宽带接入。因而,WiMAX 可应用于固定、简单移动、便携、游牧和自由移动等应用场景。

练习

1. 常用的宽带城域网组网技术有哪些?
2. MSTP 采用了哪种类型的 VC 级联方式?请说明原因。
3. 城域以太网有哪些特点?
4. RPR 支持的业务类型各有哪些特点?
5. 下列关于 RPR 技术的描述中,错误的是()。
 - a. 可以对不同的业务数据分配不同的优先级
 - b. 能够在 100 ms 内隔离出现故障的结点和光纤段
 - c. 内环和外环都可以用来传输数据分组和控制分组
 - d. 是一种用于直接在光纤上高效传输 IP 分组的传输技术

【解答提示】RPR 采用自愈环的设计思想，能够在 50 ms 的时间内，隔离出故障的结点和光纤段。显然，参考答案是选项 b。

补充练习

通过 Web 查找资料，比较 DWDM 和 CWDM 的技术特点，并说明后者更适于 MAN 的理由。

本章小结

城域网中数据业务的迅猛增长，暴露了原有 SONET/SDH 传输系统效率低下的缺点。因此，迫切需要一种新的传输技术来满足终端用户巨大的数据业务需求。解决这一问题最直接的技术是以太网。作为全世界应用最广泛的通信技术，以太网是针对数据业务的传输进行设计和优化的。目前，以太网端口数已经达到数亿个（也许十多亿个），它具有使用广泛、标准化程度高、互操作性强等优点，最重要的是它的价格非常低廉。

由于众多商业和技术原因，许多业务都融合到以太网中，将以太网作为其传送介质。然而，为了保证业务的成功汇聚，以太网技术必须实现从企业级向电信级的升级。然而，最初设计的以太网并不适于电信网。为了满足电信级的基本要求，企业级以太网面临众多挑战。例如，运营商需要提供带有业务等级协议（SLA）的业务，其中包含很多参数，如协议带宽、最大突发带宽、时延、抖动限制等。而企业级以太网仅能使用端口速率来限制带宽（10 Mb/s、100 Mb/s、1 Gb/s 或 10 Gb/s）。目前有两种方案可以实现上述要求，一种是弹性分组环（RPR），另一种是光以太网（OpE）。两种方案都致力于解决上述问题，而且都可以提供效益明显的城域网业务。然而，两者之间也存在显著差别。

无线城域网是一种新兴的无线通信系统，能够提供面向因特网的高速连接，其目标是在城域网环境下提供有效互操作的一种宽带接入手段，为整个城市提供无线宽带接入，承载各种应用业务。

小测验

1. 南京的一组计算机与北京的另外一组计算机连接在一起。可以称其为一个（ ）。
a. 广域网 b. 城域网 c. 局域网 d. 以上都不对
2. 局域网和广域网之间最主要的区别是（ ）。
a. 配置网络所用的线缆类型 b. 网络中结点之间的距离
c. 所用的 NIC 类型 d. 将工作站连接到网络所用的设备类型
3. 局域网、城域网和广域网之间最主要的区别在于（ ）。
a. 网络中结点的数量 b. 网络中结点的类型
c. 结点所在机构的大小 d. 网络中不同结点组之间的距离

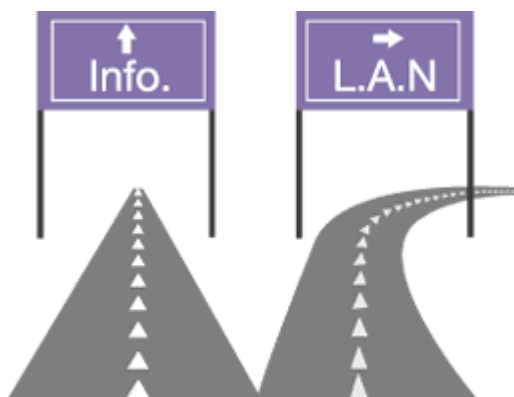
4. 下列哪个描述了一个简单的点对点网络？（ ）
 - a. 包含单一线缆类型的网络
 - b. 包含一种计算机（如 PC 或 Macintosh）的网络
 - c. 只有两台计算机在某个时间点传输的网络
 - d. 使用一根线缆将许多计算机连接在一起的网络
5. 网络（如局域网和广域网）的分类方法是（ ）。
 - a. PC 技术的类型 b. 主机连接的类型
 - c. 覆盖的地理区域 d. 连接网络的链路类型
6. ADSL 的最大特点是（ ）。
 - a. 在本地环路上进行模拟信号到数字信号的转换
 - b. 在本地环路上进行数字信号到模拟信号的转换
 - c. 高速到达用户，低速离开用户
 - d. 高速离开用户，低速传输到用户
7. 最初设计电信网络是用来传输（ ）。
 - a. 窄带语音信号 b. 宽带语音信号
 - c. 窄带数据信号 d. 宽带数据信号
8. 下列哪种信息通常需要最大的带宽？（ ）
 - a. 数字语音通信 b. 文档镜像
 - c. 压缩视频 d. 活动视频
9. 当连网设备由电信公司提供时，则可认为这个网络是（ ）。
 - a. 公用网络 b. 专用网络
 - c. 混合网络 d. 内部网络



第二章

宽带城域网技术

- 1 MSTP 城域网
- 2 弹性分组环城域网
- 3 城域以太网
- 4 光城域网 (WDM)



概 述

宽带城域网是为满足网络接入层带宽的大幅度增长而建立的，主要针对数据及多媒体业务。在地理范围上，宽带城域网局限于城市内部（类似于电话交换网的各本地网）。在技术上，宽带城域网综合采用了各种广域网技术（IP Over SDH、IP/MPLS 等）、局域网技术（以太网技术：10 Mb/s、100 Mb/s、1000 Mb/s、VPN 等）、LMDS 等。在工作层面上，宽带城域网既不是局域网在地理范围上的简单扩大，也不是广域网在规模、地理范围上的缩小，而是两者巧妙、科学、合理的综合应用（取长补短地融合以及交互使用）。在传输介质上，宽带城域网主要采用光纤、铜缆、微波以及它们的综合等。在接入方式上，宽带城域网主要采用以太网、xDSL、DDN、FR、LMDS、ATM、扩频微波等。

目前，城域网组网技术方案较多，大致包括基于 SDH 结构的城域网、基于 RPR 技术的城域网、基于以太网(Ethernet)结构的城域网和基于 WDM 结构的城域网。其实，SDH、RPR、Ethernet、WDM 等技术也都在不断吸取其他技术的优点，互相取长补短，既要实现快速传输，又要满足多业务承载，还要提供电信级的 QoS：各种城域网技术之间表现出一种融合的趋势。

在电信网中，传送网有两个用途：一是作为业务承载网的结点设备提供连接专线。从本质上讲传送网无须建全程网，为了能有效地提供长途专线（国际、国内和本地），可以构建若干个网，在管理系统的支持下，用配置的方式向业务承载层提供可靠的连接专线。二是传送网负责对汇聚的业务信息（元）群路进行交换或路由。在这种场合下，传送网是需要成网的（但仍然不需要有全程网），它可以对主干业务信息（元）群路进行交换或路由，或对本地（城域）业务信息（元）群路进行交换或路由。就城域传送网而言，主要作用是为承载网提供可靠的数据专线。

目前，城域传送网常用的技术主要有：光纤、WDM（包括 CWDM, DWDM）、SDH、RPR。显然，这些技术主要是用于提供粒度大小不同的数据专线，属于典型的城域传送网。MSTP、通用帧传送（GFT）则是另外两种技术。MSTP 最初是传送网，它在 SDH 技术的基础上增加了一些技术措施，可以同时提供 TDM 专线和分组专线。目前 MSTP 在向承载网发展，将越来越多的承载网内容加在 MSTP 的结点设备中。从逻辑层面来看，SDH 与 GFT 属于传送层，以太网交换属于业务承载层，目前 MSTP 将逻辑上独立的两层设备，物理上放在一个结点设备中。GFT 是新近提出的一种通用帧传送技术。

第一节 MSTP城域网

基于 SDH 的多业务传送平台(MSTP)可以将传统的 SDH 复用器、数字交叉连接器(DXC)、WDM 终端、第 2 层网络交换机和 IP 边缘路由器等多个独立的设备集成为一种网络设备，即基于 SDH 技术的多业务传送平台（MSTP），进行统一控制和管理。基于 SDH 的 MSTP 适合

作为网络边缘的融合结点支持混合型业务，特别是以 TDM 业务为主的混合业务。它不仅适合缺乏网络基础设施的新运营商，应用于局间或 POP 间，还适合于大型企事业用户驻地。即便对于已敷设了大量 SDH 网的运营公司，以 SDH 为基础的多业务平台也可以更有效地支持分组数据业务，实现从电路交换网向分组网的过渡。

在城域网中 MSTP 技术备受关注，得到了规模应用，并作为一项行业标准而发布。与其他技术相比，它的技术优势在于：解决了 SDH 技术对于数据业务承载效率不高的问题；解决了 ATM/IP 对于 TDM 业务承载效率低、成本高的问题；解决了 IP QoS 不高的问题；解决了 RPR 技术组网限制问题，实现了双重保护，提高了业务安全系数。MSTP 技术能够增强数据业务的网络概念，提高网络监测、维护能力，降低业务选型风险，实现降低投资、统一建网、按需建设的组网优势。

学习目标

- ▶ 了解基于 SDH 的 MSTP 城域网的功能结构；
- ▶ 掌握虚容器（VC）级联和虚级联的概念；
- ▶ 了解链路容量调整机制（LCAS）。

关键知识点

- ▶ MSTP 的组网和业务接入。

基于SDH的多业务传送平台（MSTP）

基于 SDH 的多业务传输平台（MSTP）能够提供不同粒度的多种业务、多种协议的接入、汇聚和传输能力，是目前城域网的主要实现方式之一。

MSTP 技术的发展演变

到目前为止，MSTP 技术已经历了如下演变过程。

第一代 MSTP 技术是将以太网信号直接映射到 SDH 的虚容器（VC）中，进行点到点传送；提供以太网租线业务，业务粒度受限于 VC，一般最小为 2 Mb/s；不能提供不同以太网业务的 QoS 区分；不提供流量控制；不提供多个以太网业务流的统计复用和带宽共享；保护完全基于 SDH，不提供以太网业务层的保护。

第二代 MSTP 技术是在一个或多个用户以太网接口与一个或多个独立的基于 SDH 虚容器的点到点链路之间，实现基于以太网链路层的数据帧交换。第二代 MSTP 可提供基于 802.3x 的流量控制、多用户隔离和 VLAN 划分，基于 STP 的以太网业务层保护，基于 802.1p 的优先级转发。第二代 MSTP 也有一些缺点：不能提供良好的 QoS 支持；无法很好地取代利润丰厚的租线业务；基于 MSTP 的业务层保护时间太慢；业务带宽粒度也受限于 VC，一般最小为 2 Mb/s；VLAN 的 4096 地址空间使其在主干结点的扩展能力受到限制，不适合大型城域网

应用；结点处在环上不同位置时，其业务的接入是不公平的；MAC 地址学习/维护以及 MAC 地址表影响系统性能；基于 802.3x 的流量控制只是针对点到点链路；多用户/业务的带宽共享是对本地接口而言的，还不能对整个环业务进行共享。

第三代 MSTP 技术的主要特征是引入了中间的智能适配层（1.5 层），采用通用成帧规程（GFP）高速封装协议，支持 VC 虚级联和链路容量调整机制（LCAS），因此可支持多点到多点的连接，具有可扩展性；支持用户隔离和带宽共享；支持 QoS、SLA 增强、阻塞控制以及公平接入。

基于 SDH 的 MSTP 的系统结构

基于 SDH 的 MSTP 能同时实现 TDM、ATM、以太网等业务的接入、处理和传送功能，并能提供统一网管的、基于 SDH 的平台。

以太网新业务 QoS 要求的不断提升，推动 MSTP 发展到了第三代。从第一代和第二代 MSTP 的以太网业务支持上看，不能很好支持 QoS 的一个主要原因是现有以太网技术是无连接的，尚没有足够的 QoS 处理能力。为了能将真正的 QoS 引入以太网业务，需要在以太网和 SDH 间引入一个中间的智能适配层来处理以太网业务的 QoS 要求。从技术发展来看，该中间层主要有两种，分别是 MSTP 和弹性分组环（RPR）。

第三代 MSTP 技术以支持通用成帧规程（GFP）高速封装协议为主要技术特征。GFP 是一种先进的数据信号适配、映射技术，可以透明地将上层的各种数据信号封装为可以在 SDH/OTN 传输网络中有效传输的信号。GFP 有帧映射（GFP-F）和透明映射（GFP-T）两种类型的映射方式。GFP 吸纳了 ATM 信元定界技术，数据承载效率不受流量模式的影响，同时具有更高的数据封装效率，并能支持灵活的头信息扩展以适配各种传输。MSTP 的系统功能框图如图 2.1 所示。

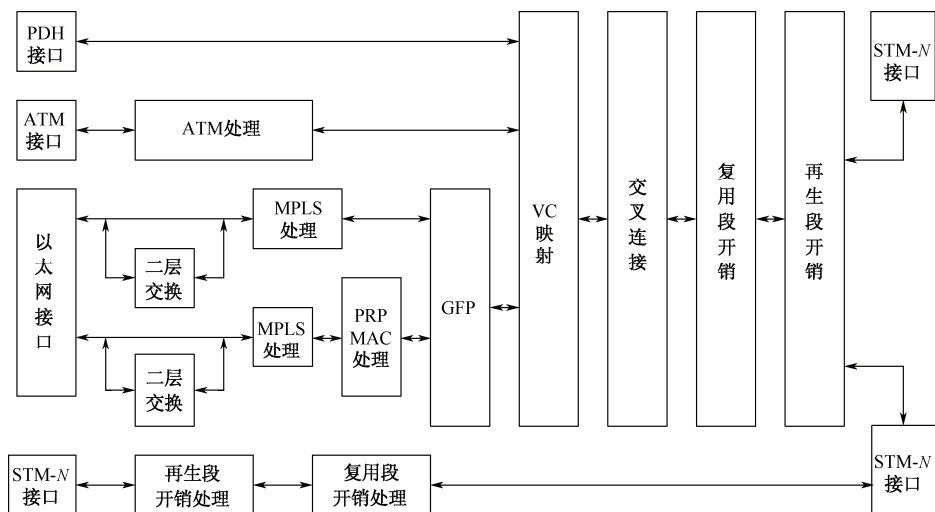


图 2.1 MSTP 系统功能框图

MSTP的实现基础,是充分利用SDH技术对传输业务数据流提供保护恢复能力和较小的时延,并对网络业务支撑层加以改造,以适应多业务应用,实现对二层、三层的数据智能支持,即:将传送结点与各种业务结点融合在一起,构成业务层和传送层一体化的SDH业务结点。

VC级联和虚级联

随着通信技术的不断发展,越来越多不同类型的应用需要通过SDH传送网络承载。由于SDH自身能够对外提供的标准接口种类有限,为了更高效地承载某些速率类型的业务,需要采用虚容器(VC)级联的办法。

级联的定义

级联是将多个SDH中的虚容器组合起来,形成一个组合容量更大容器的过程,该容器可以当作仍然保持比特序列完整性的单个容器使用。当需要承载的业务带宽不能和SDH定义的一套标准虚容器(VC)有效匹配时,可以使用VC级联。ITU-T G.707标准对VC级联进行了规定。根据VC级联的种类,可以分为:

- ▶ VC-3/4的级联——提供容量大于一个C-3/4容器的净荷的传送;
- ▶ VC-2的级联——实现容量大于一个C-2容器,但低于一个C-3/4容器的净荷的传送;
- ▶ VC-1n的级联——实现容量大于一个C-1容器,但低于一个C-2/3/4容器的净荷的传送。

从级联的方法上,级联可以分为相邻级联和虚级联两种类型。相邻级联是将同一STM-N数据帧中相邻的虚容器级联,作为一个整体结构进行传输。虚级联则是将分布于不同STM-N数据帧中的虚容器(可以同一路由或不同路由),按照级联的方法形成一个整体的结构进行传输。这两种方法都能够使传输带宽扩大到单个VC的 X 倍,它们的主要区别在于构成级联的VC的传输方式。连续级联需要在整个传输过程中保持占用一个连续的带宽,而虚级联先将连续的带宽拆分为多个独立的VC,各独立的VC分别传送,在接收侧重新组合为连续带宽。

传输系统带宽利用率的改善

随着网络上层业务和应用类型的增加,SDH网需要承载的业务种类越来越多,很多新类型业务(尤其是大量新的数据业务)所需的传送带宽不能与SDH的标准虚容器(VC)有效匹配。SDH标准容器速率和部分常见数据业务的实际速率对比如表2.1所列。

级联的最大优点是承载多业务(主要是数据业务)时提高了传输系统的带宽利用率。可以将采用标准VC映射的数据业务和采用VC级联方法承载相应业务时的带宽利用率做一个比较,级联对带宽利用率的改善很明显。不同映射方式的带宽利用率如表2.2所示。

表 2.1 SDH VC 速率与数据业务速率比较

SDH 标准容器	速率/（Mb/s）	数据业务实际容量需求
C-11	1.600	10 Mb/s Ethernet
C-12	2.176	25 Mb/s ATM
C-2	6.784	100 Mb/s Fast Ethernet
C-3	49.536	200 Mb/s ESCON
C-4	149.760	400 Mb/s, 800 Mb/s Fiber Channel
C-4-4c	599.040	
C-4-16c	2396.160	1 Gb/s Ethernet
C-4-64c	9584.640	10 Gb/s Ethernet
C-4-256c	38338.560	

表 2.2 不同映射方式的带宽利用率

数据业务实际容量需求	SDH 标准容器类型	带宽利用率	VC 级联	带宽利用率
Ethernet 10 Mb/s	C-3	20	C-12-5c	92
ATM 25 Mb/s	C-3	50	C-12-12c	96
Fast Ethernet 100 Mb/s	C-4	67	C-12-48c	100
ESCON 200 Mb/s	C-4-4c	33	C-3-4c	100
Fiber Channel 400 Mb/s	C-4-4c	67	C-3-8c	100
800 Mb/s	C-4-16c	33	C-4-6c	89
Gigabit Ethernet 1 Gb/s	C-4-16c	42	C-4-7c	95
10Gb Ethernet 10 Gb/s	C-4-64c	100	C-4-64c	100

VC-4 相邻级联和虚级联的实现

级联是一种结合过程，它把多个虚容器组合起来。级联分为相邻级联和虚级联。VC-4 相邻级联就是将相邻的 X 个 VC-4 的容量拼在一起，相当于形成一个大容器，以满足大于 VC-4 的大容量客户信号传输的要求。VC-4 级的虚级联就是把 X 个不同的 STM- N 中 VC-4 拼在一起形成一个大的虚拟容器作为一个整体使用。

级联业务传输的主要根据是新版 ITU G.707 协议。ITU G.707 协议关于级联业务的映射过程分为以下两种方式：相邻 VC-4 的级联和 VC-4 的虚级联。

相邻 VC-4 的级联 图 2.2 所示是一个 VC-4- Xc 的相邻级联结构。位于 AU-4 指针内的级联指示用于指明在单个 VC-4- Xc 中携带的多个 C-4 净荷应保持在起，映射可用容量即多个 C-4 的 C-4 容量的 X 倍（C-4 容量为 149 760 kb/s，当 $X=4$ 时映射可用容量为 599 040 kb/s，当 $X=16$ 时为 2 396 160 kb/s）。VC-4- Xc 的第 2 列至第 X 列的规定为固定填充比特，VC-4- Xc 的

第 1 列用于 POH，该 POH 分配给该 VC-4-Xc 使用。例如，BIP-8 将覆盖 VC-4-Vc 的所有列。

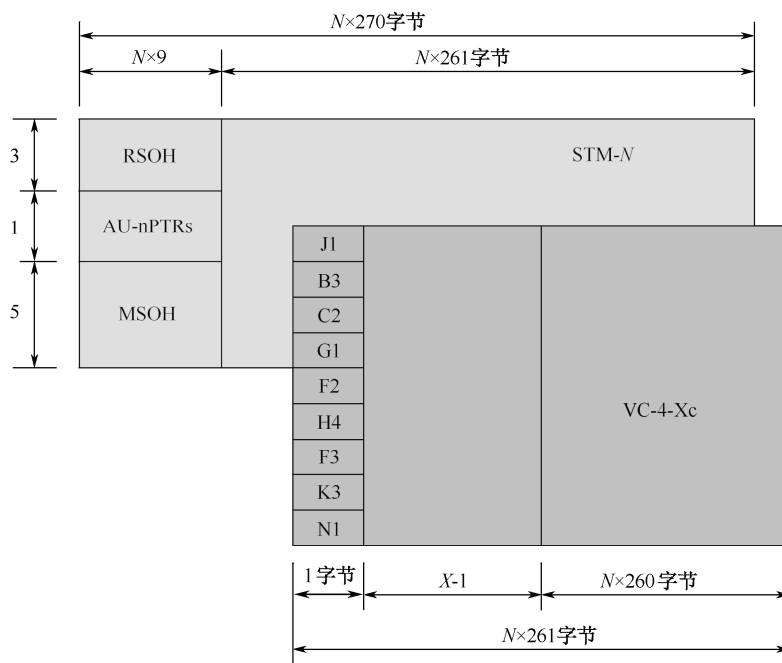


图 2.2 VC-4-Xc 的相邻级联结构

AU-4-Xc 中的第一个 AU-4 应具有正常范围的指针值，而 AU-4-Xc 内所有后续 AU-4 应将其指针置为级联指示，即 1~4 比特设置为“1001”，5~6 比特未做规定，7~16 比特设置为 10 个“1”。级联指示指定了指针处理器应执行与 AU-4-Xc 中的第一个 AU-4 相同的操作。

VC-4 的虚级联 VC-4 虚级联结构如图 2.3 所示。一个 VC-4-Xv 提供具有净荷容量为 X 倍（149 760 kb/s 的 X 倍），即一个 X 倍 C-4 的相邻净荷区域（C-4-Xc）。

该容器被映射到构成 VC-4-Xv 的 X 个独立的 VC-4 中，每个 VC-4 具有自己的 POH。POH 的规范与一般 VC-4 的 POH 规范相同，只是 POH 中的 H4 字节用作虚级联的规定序列号和复帧指示。

由图 2.3 可以看出，VC-4-Xv 分别通过网络传输，由于每个 VC-4 的传播时延不同，在各 VC-4 之间必然会产生时延差，这种时延差距必须采取补偿措施，各 VC-4 必须重新排列以接入到相邻的净荷区。重新排列的处理包括必须至少容许 125 μ s 的时延差，为了使 VC-4-Xv 中的各 VC-4 间的时延差最小，各 VC-4 在网络中应通过相同的网络路由传输。当然，如果时延差能够得到保证，也允许各 VC-4 在网络中可通过不同的路由进行传输。

相邻级联和虚级联是 MSTP 的重要特征，在传输网络向更丰富的业务网络发展的过程中起着重要的作用。

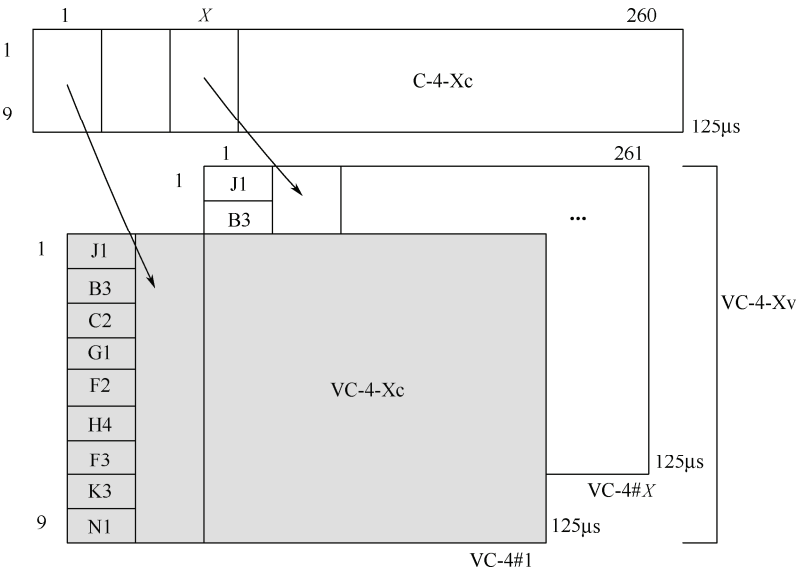


图 2.3 VC-4 的虚级联结构

链路容量调整机制

ITU-T G.7042/Y.1305 标准定义了链路容量调整机制（LCAS）。LCAS 提供了一种虚级联链路首端和末端的适配功能，可用来增加或减小 SDH/OTN 网中采用虚级联构成的容器的容量。LCAS 利用 SDH 预留的开销字节来传递控制信息，控制信息包括固定、增加、正常、VC 结束、空闲和不使用 6 种；通过控制信息的传送来动态地调整 VC 的个数，以适应以太网业务带宽的需求。LCAS 可以将净荷自动映射到可用的 VC 上，避免了复杂的人工电路交叉连接配置，提高了带宽指配速度，对业务无损伤，而且在系统出现故障时，可以自动、动态地调整系统带宽，无须人工介入。在一个或几个 VC 通路出现故障时，数据传输也能够保持正常。因此，LCAS 为 MSTP 提供了端到端的动态带宽调整机制，可以在保证 QoS 的前提下显著提高网络利用率。

LCAS 的帧结构

为了保证容量调整时虚级联链路首端和末端的同步，LCAS 定义了一套控制分组。控制分组描述了虚级联的链路状态，保证当网络发生变化时，链路首端和末端能够及时动作并保持同步。

作为基于 SDH 的协议，VC 和 LCAS 都是通过定义 SDH 帧结构中的空闲开销字节来实现的。如图 2.4 所示，对于高阶虚级联和低阶虚级联，LCAS 分别利用 VC4 通道开销的 H4 字节和 VC12 通道开销的 K4 字节。高阶虚级联的 LCAS 帧结构如图 2.5 所示，低阶虚级联的 LCAS

帧结构如图 2.6 所示。

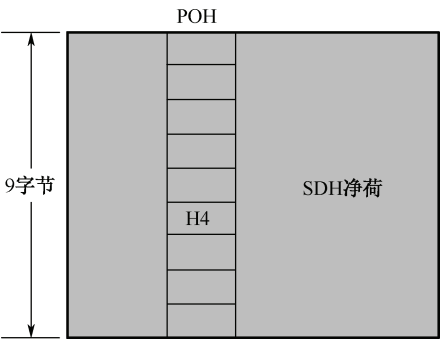


图 2.4 VC4 通道开销的 H4 字节

Bit1	Bit2	Bit3	Bit4	Bit5	Bit6	Bit7	Bit8
MF12 复帧指示器 2 (1~4 b)				0	0	0	0
MF12 复帧指示器 2 (5~8 b)				0	0	0	1
CTRL 控制字				0	0	1	0
GID 组识别符				0	0	1	1
保留 (0000)				0	1	0	0
保留 (0000)				0	1	0	1
循环冗余校验 (CRC) -8				0	1	1	0
循环冗余校验 (CRC) -8				0	1	1	1
Member Status (MST) 成员状态				1	0	0	0
Member Status (MST) 成员状态				1	0	0	1
保留 (0000)				1	0	1	0
保留 (0000)				1	0	1	1
保留 (0000)				1	1	0	0
保留 (0000)				1	1	0	1
SQ 序列指示器 2 (1~4 b)				1	1	1	0
SQ 序列指示器 2 (5~8 b)				1	1	1	1

图 2.5 高阶虚级联的 LCAS 帧结构

1 2 3 4 5	6 7 8 9 10 11	12 13 14 15 16 17	18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
帧计数	序列指示器	CTR 控制字 GID R	R R R R ACK MST 成员状态 CRC-3

图 2.6 低阶虚级联的 LCAS 帧结构

LCAS 技术是建立在 VC 虚级联基础上的，与 VC 相同的是它们的信息都定义在同样的开销字节中；与 VC 不同的是，LCAS 是一个双向握手协议。在传送净荷前，发送端和接收端通过交换控制信息，保持双方动作一致。显然，LCAS 需要定义更多开销来完成其较复杂的控制。

LCAS 除了定义 MFI 和 SQ 字段之外, 还定义了 CTRL、GID、CRC、MST 和 RS-Ack 等 5 个字段。

- ▶ MFI——一个帧计数器。某一帧的 MFI 值总是上一帧的值加 1。对于像 SDH 这样的同步系统, 每帧所占的时隙都相同。MFI 标识了帧序列的先后顺序, 即标识了时间的先后顺序。接收端通过 MFI 之间值的差别, 判断从不同路径传来的帧之间时延差多少, 计算出时延后, 就可把不同时延的帧再次同步。高阶 VC 和低阶 VC 可容忍的最大时延差均为 ± 256 ms。
- ▶ SQ——序列指示器, 用于指示成员在虚级联组 (VCG) 中的位置, 如图 2.5 所示, 一个成员就是一个基本的记录单位, 一个虚级联组就是若干个成员组成的一个整体。
- ▶ CTRL——控制字段。它有两个作用: 一是表示当前成员的状态, 例如, 最后一个成员的控制字段为 EOS (0011), 空闲的成员控制字段为 IDLE (0101); 二是用 ADD (0001) 和 DNU (1111) 分别表示当前成员需加入和移出 VCG, 用 FIXED (0000) 和 NORM (0010) 表示不支持 LCAS 和正常传送状态。
- ▶ GID——组织识别符。GID 是一个伪随机数, 同一组中的所有成员都拥有相同的 GID, 这样就可标识来自同一发送端的成员。
- ▶ CRC——循环冗余检验, 对整个控制帧进行校验。
- ▶ MST——成员状态字, 用于标识组中每个成员的状态。OK=0, FAIL=1。
- ▶ 重排序确认位 (RS-Ack) ——容量调整后, 接收端通过把 RS-Ack 取反来表示调整过程结束。

链路容量调整过程

LCAS 的最大优点是具有动态调整链路容量的功能。作为一个双向握手协议, 当某一端向对端传输数据时若增加或删除成员, 对端也要在反方向重复这些动作, 发给源端, 其中对端的相应动作不必与源端同步。调整分为增加或减少成员, 需要调整 VCG 中成员的序列号, 其中控制域 EOS 是指 VCG 序列号的最后一个。不同情况下的调整方法如下:

- ▶ 带宽减小, 暂时删除成员: 当 VC 成员失效时, VCG 链路的末端结点首先检测出故障, 并向首端结点发送成员失效的消息, 指出失效成员; 首端结点把该成员的控制字段设置为“不可用 (DNU)”, 发往末端结点。末端结点把仍能正常传送的 VC 重组 VCG (即把失效的 VC 从 VCG 中暂时删除), 此时首端结点也把失效的 VC 从 VCG 中暂时删除, 仅采用正常的 VC 发送数据。然后, 首端结点把动作信息上报给网管系统。
- ▶ 业务量增大, 新加入成员: 当 VC 成员恢复时, VCG 链路的末端结点首先检测出失效 VC 已恢复, 向首端结点发送成员恢复消息; 首端结点把该成员的控制字段设置为“正常 (NORM)”, 并发往末端结点。首端结点把恢复正常的 VC 重新纳入 VCG, 末端结点也把恢复正常的 VC 纳入 VCG。最后, 首端结点把动作信息上报给网管系统。

如前所述, LCAS 是对 VC 技术的有效补充, 可根据业务流量模式提供动态灵活的带宽分配和保护机制。按需带宽分配 (BOD) 业务是未来智能光网络的杀手级应用, LCAS 实现 VC

带宽动态调整,为实现端到端的带宽智能化分配提供了有效的手段。在突发性数据业务增多的应用环境下,VC 和 LCAS 是衡量带宽是否有效利用的重要指标。

LCAS 技术的实现

LCAS 是对 SDH 能力的一项重要改进,它能让 SDH 网络更加健壮、灵活。LCAS 是建立在 VC 基础上、连续运行在两端结点之间的信令协议,运营商利用它可动态调整通道容量:当 VCG 中部分成员失效时,它剔除这些成员,保证正常成员继续顺利传输;当失效的成员被修复时,它能自动恢复 VCG 的带宽,这一过程远快于手动配置,从而加强对业务的保护能力。另外,在实际使用中,某些企业对网络带宽的需求因时段不同而有差异,例如上班时仅需 10 Mb/s 带宽就足以完成日常工作,但在下班之前半小时,则需 100 Mb/s 带宽才能完成当天数据的备份。以往,这些企业为了保证数据备份顺利进行,不得不租用 100 Mb/s 带宽,造成巨大浪费。这一普遍现象使光网络智能化和自动化的需求日趋紧迫,但是以自动交换光网络(ASON)技术为核心的下一代智能光网络技术尚需一段时间才能成熟,作为 ASON 自动调整带宽的基础协议之一,LCAS 技术能在一定程度上满足这些需求。

LCAS 技术的实现一般分两步走:在核心网没有实现控制平面时,可由网管手工解决动态调整通道容量的问题;随着用户与网络接口(UNI)标准的不断完善,在不中断业务的前提下动态调整带宽,以满足用户需求。当带宽需求增加时,保证链路的容量;当带宽需求减少时,多余的带宽可挪作他用。这样,既可节省企业开支,又可提高运营商的服务质量。

MSTP小结

MSTP 是完善的统一传送平台,有效地将多种网络进行融合,简化重叠的网络结构,使得网络管理更加明晰、简便,同时网络综合投资成本降低,已成为各大运营商目前城域网建设的首选方案。

MSTP 技术还在不断发展之中,今后的发展将进入智能化服务发展阶段,引入自动交换光网络(ASON)功能,利用独立的 ASON 控制平面来实施自动连接管理,快速响应业务的需求,提供业务的自动配置、网络拓扑的自动发现、带宽动态分配等更为智能化的策略,从而大大增强 MSTP 自身灵活、有效地支持数据业务的能力。

练习

1. MSTP 采用了哪种类型的 VC 级联方式?请说明原因。
2. 简述级联的最大优点。
3. 在低阶级联的 LCAS 帧中,简述其 CTRL 字段的作用。

第二节 弹性分组环城域网

弹性分组环（RPR）是一种全新、高效的城域网（MAN）和城域接入网解决方案。它利用空分复用、统计复用和保护环，提高了带宽的利用率，实现了结点对网络资源的公平利用，同时还支持业务等级协议（SLA）以及即插即用等特性。RPR 打破了局域网与广域网的接入瓶颈，被认为是重建城域网以满足新业务需求的一种替代方式。

学习目标

- ▶ 了解弹性分组环（RPR）的关键技术；
- ▶ 了解 RPR 技术的 MAC 协议。

关键知识点

- ▶ RPR 城域网组网。

RPR简介

目前，随着城域网中数据流量的增加，传统的传输方式（如 SONET/ATM）已经在新业务面前力不从心。于是，IEEE 从 2000 年初开始关于 RPR 的论证工作，在汇集众多设备厂商和电信运营商意见和建议的基础上，于 2001 年 11 月正式成立了 IEEE 802.17 弹性分组环工作组，开始进行标准化工作，具体规范了 RPR 接入协议在本地、城域和广域网中的使用。2002 年 1 月底 IEEE 802.17 推出了 RPR 的 1.0 版本，IEEE 802.17 RPR 标准也于 2004 年 3 月颁布。

弹性分组环（RPR）可以兼容多种数据速率。它可以在一系列的物理层上工作，如 SONET/SDH、千兆以太网（IEEE 802.3ab）、10 Gb/s 以太网（IEEE 802.3ae）以及密集波分复用（DWDM）等。当出现速率越来越高的物理层时，RPR 同样予以支持。

在 IEEE 802.17 工作组对 RPR 进行标准化的同时，IETF 于 2000 年 12 月成立了 IPORRRPR WG（IP over RPR 工作组），研究 RPR 如何将动态路由与 MPLS 相结合，并制定了多厂家互通标准。

RPR 优化了在 MAN 拓扑环上数据包的传输。该技术结合了 IP 的智能化、以太网的经济性以及光纤环网的高带宽效率和高可靠性。它利用空间复用技术、统计复用和保护环，提高了带宽利用率；简化了网络层次，消除了网络功能上的重复性，使得协议开销最小。同时，还支持业务等级协议（SLA）以及即插即用等特性，实现了结点对网络资源的公平利用。

RPR工作原理

RPR 是一种数据优化网络，至少有两个相互反方向传送的共享子环，如图 2.7 所示。环网

上的结点共享带宽,不需要进行电路指配。利用路由公平控制算法,环网上的各个结点能够自动完成带宽协调。每个结点都有一个环状网络拓扑结构,都能将数据发送到光纤子环上,送往目的结点。两个子环都可以作为工作通道。为了防止光纤或结点发生故障时导致链路中断,由路由保护算法来消除相应的故障段。

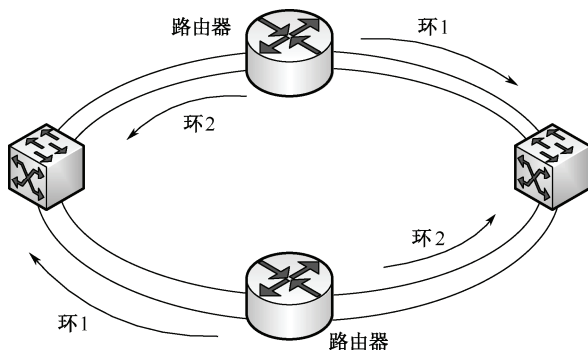


图 2.7 RPR 示意图

拓扑和双环 RPR 网络是一个双向旋转的光纤环,由外层的环 1 和内层的环 2 组成,可以看作两个对称的反向环路。每一个环都单方向传送。相邻结点之间的跨距包含传送方向相反的两条链路。几乎所有的协议有限状态机在这两个环路上都是一样的。环网上可以有多个结点,RPR 支持多达 255 个工作站,最大环周长为 2 000 km。双向环结构使得 RPR 可以采取两种保护机制:

- ▶ 环回(Ring Wrap)——就像在光纤分布式数据接口(FDDI)或者 SONET/SDH 双向线路保护倒换(BLSR)中的保护机制一样,在传输介质或者结点失效时,使数据从邻近失效链路的结点处经另一端环回。
- ▶ 源端定向(Source Steering)——同在 SONET 单向通道保护倒换(UPSR)中的保护机制一样,源端结点选择向其中的一个环发送数据,以避免失效的链路。

结点可以在两个方向上发送数据,也就是说既可以顺时针也可以逆时针在环上传输数据。一般来说,根据拓扑发现机制,结点选择一条离目的结点最近的路径发送数据。但这并不是必须的,比如在发生阻塞或者链路上出现错误时可能会选择另外一条路径。这种选路机制和空间复用机制的结合大大提高了双环的传输容量。

共享介质 由于 RPR 可共享传输介质,因此能支持广播业务,这就意味着大量应用广播的机制可以同样应用在 RPR 上,比如以太网的地址解析协议(ARP)和生成树协议(STP)等。

弹性 一个分组可以通过两条不同的路径到达目的结点,在一条路径失效时,该分组可以选择另外一条传送,并且切换时间小于 50 ms,因此 RPR 是具有弹性的。在 RPR 中,在正常情况下,两条路径都可以承载业务,而不需要把一条路径专门用作备份路径,从而高效地利用了光纤资源。

空间复用技术与目的地剥离 通过 RPR 在目的结点处把分组从环上剥离开来的机制可以获得更高的链路利用率, 这种技术也称为空间复用技术。它为当前结点和下面的结点节省了更多的带宽, 这些带宽可以用来传输更多的数据。目的地剥离也有例外, 即多播和广播中分组是在源端被剥离的。

RPR的关键技术

RPR 的关键技术涉及网络结构与协议分层、基本 MAC 协议、流量控制、业务支持与带宽管理、拓扑发现、智能保护切换以及空间复用等多个方面, 在此仅讨论如下几项技术。

带宽分配和公平算法 (RPR-fa)

MAC 层的服务 RPR 定义了介质访问控制 (MAC) 子层协议, 环网上的所有发送结点都可以使用环网上的可用带宽。RPR 的 MAC 协议可提供四种服务访问点, 以满足 MAC 客户实体之间交换 PDU。这四种服务访问点可以提供高优先级、中优先级、低优先级和控制等四个逻辑通道的访问。MAC 层提供的四种服务是:

- ▶ **预留带宽服务**——RPR 的 MAC 协议提供一种预留环上带宽的机制。这些带宽对 RPR 的公平算法是不可见的, 必须由 RPR 的 MAC 客户实体完全控制。其他三个等级的业务不能使用这些预留的带宽, 即使这些带宽空闲。RPR 的 MAC 层会通过某种规则, 把预留带宽服务的数据传送要求映射到已经静态预留的带宽上去。服务访问点也会为 MAC 客户提供底层通道的状态信息, 如当前服务是否可用等。
- ▶ **高优先级服务**——RPR 的 MAC 提供一种高优先级的服务, 这种服务可以支持对端到端时延和抖动要求比较高的业务。MAC 层认为 MAC 客户已经在入口处对高优先级的服务整形, 从而可满足承诺信息速率 (Committed Information Rate, CIR)、突发信息速率 (Burst Information Rate, BIR) 和超额信息速率 (Excess Information Rate, EIR) 的要求。服务访问点会为 MAC 客户提供一些底层通道的状态信息, 如当前服务是否可用、当前业务是否可以被接受等。
- ▶ **中优先级服务**——中优先级服务支持对时延不敏感但要求带宽保证的业务, 同高优先级服务一样, MAC 层期望 MAC 客户已经对业务流进行整形, 以满足 CIR 和 EIR 的限制。RPR-fa 根据业务流是否遵循 CIR/EIR 的限制, 来对业务流进行不同的处理。如果业务流遵循 CIR/EIR 的限制, 那么这些数据帧就像高优先级业务一样, 对 RPR-fa 不可见; 反之, 数据帧将在环的入口处被标识, 这些不遵循 CIR/EIR 限制的数据帧无论是在环的入口还是在环上的传输站点上, 都会被计算在公平算法的处理之内。这些数据帧的级别等同于低优先级。服务访问点会为 MAC 客户提供一些底层通道的状态信息, 如当前服务是否可用、当前业务是否可以被接受等。
- ▶ **低优先级服务**——这种服务支持那些对端到端的时延和抖动都不敏感的业务。同样, 服务访问点会为 MAC 客户提供一些底层通道的状态信息, 如当前服务是否可用、当前

业务是否可以被接受等。

MAC 公平算法 RPR-fa 是局部的公平算法,它是一种保证环上所有站点之间公平性的机制,只应用于从 MAC 客户来的低优先级服务和超额中优先级服务(即中优先级服务中不遵循 CIR/EIR 限制的数据帧)的业务。

在 RPR-fa 中,如果一个结点发生阻塞,它就会在相反的环上向上行结点公布一个公平速率(Fare Rate)。当上行结点收到这个公平速率时,它们就调整自己的发送速率,以不超过公平速率。接收到这个公平速率的结点会根据不同情况做出两种反应:若当前结点阻塞,它就在自己的公平速率和收到的公平速率之间选择最小值公布给上行结点;若当前结点不阻塞,结点就可能不采取任何行动。

在 RPR-fa 中有一个多阻塞(Multi-choke)的概念,多阻塞机制应用于一个结点业务流的目的结点与阻塞链路相邻的情况下。进一步说,只要某个发送速率满足(不大于)源结点和目的结点之间所有阻塞结点的公平速率,RPR-fa 就允许源结点以此速率给目的结点发送数据,这就是多阻塞机制的原理。

拓扑发现协议

RPR 拓扑发现的实现是一种周期性的活动,但是也可以由某一个需要知道拓扑结构的结点来发起。也就是说,某个结点可以在必要的时候(例如,此结点刚刚进入 RPR 环中,接收到一个保护切换需求信息或者结点监测到了光纤链路差错)产生一个拓扑发现分组。

在拓扑发现的过程中,每个结点都要把它的标识符传送给相邻结点,这样就产生了拓扑识别的累积效应。拓扑发现分组的头部有相应的信息表明这个分组是个拓扑发现分组,所经过的结点应该把此分组取下并且重新产生一个。重新产生分组时,结点需要把自己的标识符加到分组中标识符队列的开始,并且去掉标识符队列末尾的冗余条目。

需要注意,拓扑图只包含可以到达的结点,并且在有环回时,一些结点会被记录两次。当需要定向(Steering)时,将利用所得到的拓扑信息来支持保护切换。

拓扑发现消息 发现消息是周期性发送的,这样做有以下几个目的:

- ▶ 确定结点的活动——结点活动性的检测就是依靠像拓扑发现分组这样的“心跳”来完成的。
- ▶ 拥塞控制——流量控制的协议将拥塞信息通知上行结点。
- ▶ 发现插入点——拓扑发现消息使得结点可以选择最佳的插入点:在正常的操作中,选择最佳插入点使得源结点到目的结点的跳数最少;在非正常的操作中,选择最佳插入点可以避免不需要的保护环加入。

处理拓扑发现消息 拓扑发现消息用来累积拓扑信息,每个结点都把自己的标识符附加到所经过的发现消息。

修剪拓扑发现消息 每个结点都要负责把标识符队列底部的冗余信息去掉。

智能保护切换

链路的失效会影响到那些要通过该链路的分组。RPR 支持智能保护切换，即环自愈保护。临近失效链路的结点能够很快产生环回，即把分组传送到另一个环上，而不是丢掉分组。

在保护机制中，环回可以使分组的丢失最少，但在应用定向机制以前消耗了大量的带宽，并且环回导致的环回数据流所产生的延迟会影响高优先级的分组业务。因此环回是一种过渡的策略，而定向才是更有效的，同时也是链路失效恢复协议的一部分。当环回链路上所有的分组都被传输以后，环回机制和定向机制的切换才是安全的。

如果一个链路被恢复了，也就是两个环都可以正常工作了，那么可以根据新的拓扑信息把业务发送到最优的方向。

空间复用机制

RPR 采用空间复用技术，在一根光纤上可以分段传输。空间复用技术有两个概念：

- ▶ 在同一个环上，不重叠的部分可以并行传输数据；
- ▶ 在不同环上，重叠部分的两段线路可以并行传输数据。

RPR城域网组网

RPR 技术使得运营商在城域网内以低成本提供电信级的服务成为可能，在提供 SONET/SDH 级网络生存性的同时降低了传送费用。RPR 最引人注目的特点就是支持电路仿真，以承载城域语音业务。目前，RPR 技术在城域传输网中有以下两种应用方式：

- ▶ 内嵌 RPR 的基于 SDH 的 MSTP，也称为嵌入式 RPR 设备；
- ▶ 基于以太网（Ethernet）物理层（PHY）的 RPR，也称为纯 RPR 设备。

基于 SDH/SONET 的 RPR

内嵌 RPR 的基于 SDH 的 MSTP，是从传统的 SDH/SONET 平台向承载数据和语音的多业务综合传输平台发展的产物，并且是基于 SDH 的 MSTP 的主要技术特征之一：它在 SDH 的传输通道上根据实际应用需要设定传输 TDM 语音业务的 VC 通道和传输 IP 等数据业务的 RPR 通道（ $n \times VC-X$ ）的带宽，其协议结构如图 2.8 所示。

嵌入式 RPR 设备一方面可通过 SDH 来高效、优质地传输 TDM 业务，另一方面可通过 RPR 技术来提供对数据业务的动态、公平、高效的带宽共享利用，以及业务的 CoS 和 QoS 服务。该应用方案适用于大量采用 SDH 设备的电信运营商，它既保证了用户的前期投资，又适应了业务模式的变化，对现有的城域网不会带来太大的冲击。

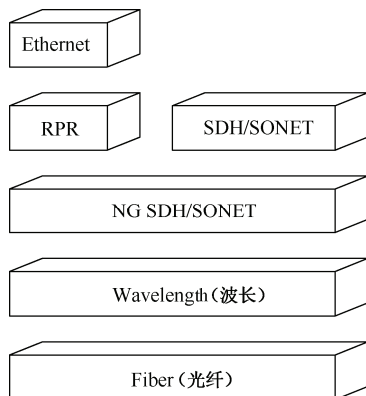


图 2.8 基于 SDH/SONET 的 RPR 协议结构

基于 WAN/LAN PHY 的 RPR

基于以太网 WAN/LAN PHY 的 RPR 则是以太网数据平台向传输网络融合分组的产物。纯 RPR 设备在环路上均采用 MAC 帧的分组方式来承载所有业务，不存在承载 TDM 语音业务的 SDH VC 通道。基于 WAN/LAN PHY 的 RPR 协议结构如图 2.9 所示。

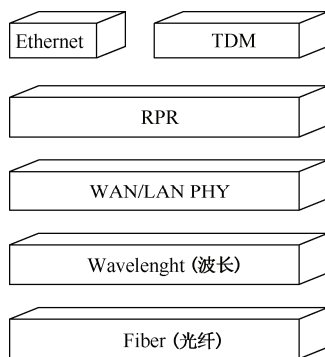


图 2.9 基于 WAN/LAN PHY 的 RPR 协议结构

RPR 环路将 TDM 业务设置为最高优先级并绝对保证其所需的带宽，以此来保证其电信级的时延和抖动性能。同时还要提供相应的时钟同步、性能检测和故障诊断等机制。RPR 一般采用电路仿真（CES）来实现 TDM 业务在分组网上的传输。例如，采用 IETF PWB3 工作组所规范的方式来对 STM-1 进行封装。

总之，从网络应用范围来看，嵌入式 RPR 技术适用于 TDM 为主要业务的网络，以及在与现有 SDH 网络兼容的前提下提供分组传输功能的网络。而纯 RPR 技术适用于以数据分组业务为主的网络，特别是新建的一开始就以新兴业务为主体的网络。RPR 技术使得运营商在城域网内以低成本提供电信级的服务成为可能，其特点就是利用以太网的低成本、SDH 的可靠

性、ATM 的多业务化与服务质量以及 RPR 的弹性机制来构建城域网。

由 IEEE 802.17 工作组提出的弹性分组环协议是一种 MAC 层协议，是为优化数据包的传输而提出的，它吸收了千兆以太网的经济性、SDH 对时延和抖动的严格保障、可靠的时钟和 50 ms 环保护和恢复等特性，并具有空间复用、带宽动态分配、支持业务级别等特点，使其成为当前光网络上传输数据包的一种优化技术，正得到业界的广泛关注和重视。RPR 可以满足城域网越来越高的数据传输要求，已成为城域网组网的优选方案。

练习

1. 下列关于 RPR 技术的描述中，错误的是（ ）。

- a. RPR 的内环用于传输数据分组，外环用于传输控制分组
- b. RPR 是一种用于直接在光纤上高效传输 IP 分组的传输技术
- c. RPR 环可以对不同的业务数据分配不同的优先级
- d. RPR 能够在 50 ms 内隔离出现故障的结点和光纤段

【解答提示】RPR 弹性分组环是用于直接在光纤上高效传输 IP 分组的传输技术。RPR 采用双环结构，将沿顺时针传输的光纤环叫作外环，将沿逆时针传输的光纤环叫作内环，内环和外环都可以传输数据和控制分组。显然，参考答案是选项 a。

2. 下面关于 RPR 的说法中，不正确的是（ ）。

- a. RPR 是一种在光纤上高效传输 IP 分组的传输技术
- b. RPR 采用双环结构，可以实现“自愈环”的功能
- c. 采用 RPR 技术可使带宽的利用率提高
- d. RPR 采用的结构与 FDDI 结构不同

【解答提示】弹性分组环（RPR）是一种在光纤上高效传输 IP 分组的传输技术。RPR 采用双环结构，这一点与 FDDI 结构相同。RPR 的内环和外环都可以用统计复用的方法传输 IP 分组，同时实现“自愈环”的功能。RPR 技术的主要特点有：带宽利用率高，公平性好，快速保护和恢复能力强，保证服务质量。显然，参考答案是选项 d。

第三节 城域以太网

目前，以太网已经得到广泛应用，95%以上的用户都使用以太网作为其内部网络。以太网之所以得到了广泛应用，其主要优势在于价格低，用户接入方便。光纤以太网技术的出现，10 Gb/s 以太网标准以及 RPR 技术的逐步成熟，推动了以太网技术进入城域网领域。尽管以太网得到大规模应用，但其固有的特性使其在某些方面还存在较大的局限性。例如，缺少端到端的 QoS 保障机制，保护机制不够完善，缺少性能监测能力，扩展性和资源的利用受到影响等。因此，以太网在城域网中的应用，对业界和设备提出了新的挑战。目前，在多业务城域以太网

的具体实施上，有两种发展趋势：

- ▶ 以太网技术与 SDH 结合，利用 SDH 的管理能力和故障保护能力等提升以太网的组网能力和性能，其典型代表是 MSTP 技术；
- ▶ 保持以太网的底层特征，利用上层的智能（如 MPLS 技术）提升以太网的相关能力。

于 2001 年 6 月成立的城域以太网论坛（MEF）是由网络设备制造商和网络设备运营商组成的非营利性组织。该论坛下设技术委员会和市场委员会，分别负责城域以太网标准的制订和相关业务应用的推广。

学习目标

- ▶ 了解城域以太网的结构和业务；
- ▶ 掌握城域以太网的业务类型。

关键知识点

- ▶ 组建基于 VPLS 的城域以太网。

城域以太网结构

由于以太网技术配置简单、组网灵活、价格低廉，而且该技术本身已经被大多数人所熟悉和接受，因此以太网组网技术得到很大发展。事实表明，以太网在局域网中表现出的种种优势，正在逐渐使其成为城域网甚至广域网中的承载网络。城域以太网可用来提供各种城域业务，包括透明 LAN 业务（TLS）和虚拟共置。

城域以太网的功能性结构

城域以太网定义了独立于技术的功能性结构，如图 2.10 所示。该结构各层的功能如下。

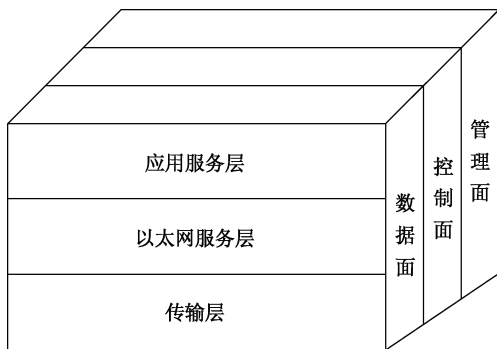


图 2.10 城域以太网的功能性结构

- ▶ 传输层——使用以太网、SDH 等技术实现数据传输。例如，在符合 IEEE 802.3ae 标准

的 10 Gb/s 接口中有两种方式, 分别称为 WAN PHY 和 LAN PHY。WAN PHY 接口通过将 10 Gb/s 以太网帧封装在 10 Gb/s SDH 中传输, 数据链路层之下还有 SDH 帧, 物理层是透明比特流; 10 Gb/s LAN PHY 接口则是将 10 Gb/s 以太网帧直接通过裸光纤或在波长中传输, 数据链路层之下就是透明比特流构成的物理层, 传输介质可以是光纤、铜缆等。

- ▶ 以太网服务层——实现以太网 MAC 功能, 其基本工作原理仍然遵循以太网网桥特性。以太网交换机通过对进入端口的以太网广播帧的源 MAC 地址的自动学习, 获得 MAC 地址与交换机端口的对应关系, 从而在下次进入交换机的以太网帧中读取目的 MAC 地址, 查找对应的端口进行交换, 并可以实现初级 L2 流控。ARP 和 RARP 协议用于实现网络层地址和数据链路层地址的相互映射和解析。
- ▶ 应用服务层——提供各种业务, 如语音、视频、数据业务等。但是, 各种业务和应用是直接基于以太网协议还是基于某种网络层协议 (如 IP), 在城域以太网论坛 (MEF) 的文件中还没有明确规定。此外, MEF 在业务的定义上还不十分明确, 目前更多的是将业务定位在以太网专线承载方面, 而不是指各种高层应用。从这个角度看, MEF 定义的城域以太网是一个承载网, 而不是业务网。

可以将城域以太网结构中的每层看成是由适配功能、连接功能和终端功能的 3 个功能实体组成的。

城域以太网的 UNI

用户网络接口 (UNI) 是用户和运营商的分界点, 包含两个子集 UNI-C 和 UNI-N, 分别描述用户端和业务提供商。UNI 从功能上分为用户 DTE 和城域以太网 (MEN) DCE, 对用户 DTE 和 MEN DCE 的维护属于不同的自治域。此外, 还定义了 UNI 的服务模式和功能参考模式。在用户 DTE 和 MEN DCE 之间利用服务信令建立 UNI VC (虚连接), 利用 MEN DCE 中的交叉连接功能, 将 UNI VC 同 MEN 中的一段 EVC (以太网虚连接) 绑定, 从而提供各种服务, 如因特网、语音、视频等。城域以太网的 UNI 如图 2.11 所示。

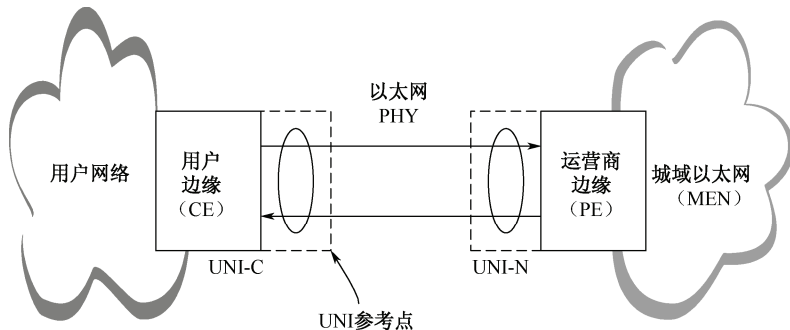


图 2.11 城域以太网 UNI

从功能上讲, UNI 由以下 3 个平面组成:

- ▶ 数据平面——用来定义跨过 UNI 参考点传送信息的方法, 包括传输各种用户流的机制, 对于以太网 UNI, 数据流基本上是 IEEE 802.3 帧。它主要完成以太网帧的传输、标记、流量管理等。
- ▶ 控制平面——用来为用户和 MEN 服务提供商提供控制 UNI 数据平面的方法。为了使用户能使用一个或多个以太网服务, 用户同 MEN 服务提供商之间需要有一种通信机制, 使它们对服务的特性达成一致。UNI 控制平面主要包括两个功能: 静态发现和动态连接建立。
- ▶ 管理平面——用来管理 UNI 数据和控制平面的运行, 其主要功能有: 配置和 QoS 管理, 保护和恢复, OAM。

城域以太网业务

城域以太网业务的基本模型如图 2.12 所示。终端设备(CE)通过标准的 10 Mb/s、100 Mb/s、1 Gb/s 或者 10 Gb/s 以太网接口 UNI 连接到网络上。其业务是从用户的角度来定义的, 城域以太网(MEN)中的多种传输技术和协议(如 SONET、DWDM、MPLS、GFP 等)都可以支持这种业务。但是, 从用户的角度来看, UNI 用户侧的网络连接是以太网。

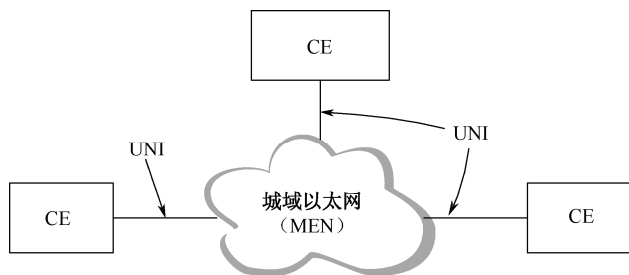


图 2.12 城域以太网业务的基本模型

城域以太网业务的一个关键属性是以太网虚连接(EVC)。城域以太网论坛(MEF)对 EVC 的定义是“两个或者多个 UNI 的一个结合”, 此处 UNI 是标准的以太网接口, 它是用户设备与业务提供商的城域以太网之间的分界点。城域以太网论坛定义了点到点和多点到多点两种类型的 EVC。EVC 应具备以下两项功能:

- ▶ 连接两个或者多个用户站点(或 UNI), 并在它们之间传递以太网业务帧。
- ▶ 防止不属于同一个 EVC 的用户站点之间交换数据。这个能力使得 EVC 可以提供类似于帧中继或者 ATM 永久虚电路(PVC)的私密性和安全性。

在 EVC 上传递以太网帧有两个基本原则:

- ▶ 业务帧一定不能再传回它的发起 UNI。
- ▶ 传送的业务帧必须携带 MAC 地址, 而且业务帧的内容不能改变。也就是说, 从源结点

到目的结点，以太网帧不能改变。而在典型的 IP 路由网络中，会去掉并且丢弃以太网帧头。

为了支持众多的应用并且支持用户的需要，以太网业务具有不同的类型，不同的类型又具有不同的业务属性。随着时间的推移，以太网业务无疑将利用以太网技术的优势来提供创新的业务类型。城域以太网论坛（MEF）根据城域网中因特网应用连接的类型、特性，定义了 3 种以太网业务：

- ▶ 以太网虚拟专线（EVPL）业务；
- ▶ 以太网专用 LAN（EPLn）业务；
- ▶ 以太网电路仿真业务（CES）业务。

以太网虚拟专线（EVPL）业务

EVPL 业务是指在两个用户 UNI 之间提供点到点的因特网虚连接（EVC）。一个 UNI 的物理端口上可以提供 1 条以上的点到点 EVC，如图 2.13 所示。该业务最简单的形式是为在两个方向传递的数据提供对称带宽，但是没有质量保证。例如，在两个 10 Mb/s 的 UNI 之间提供尽力而为业务。这类业务与帧中继业务类似，可以向用户提供承诺信息速率（CIR）、峰值信息速率（PIR）和允许突发值。

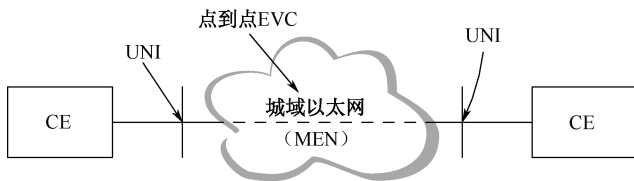


图 2.13 点到点 EVC 构成的 EVPL 业务

以太网专用 LAN（EPLn）业务

EPLn 业务提供多点连接，即在两个以上用户间提供多点以太网连接。城域网对于用户是一个仿真的 LAN，可提供单点、多点和广播 PDU 发送。也就是说，它可以连接 2 个或者多个 UNI，如图 2.14 所示。每个 UNI 和一个多点的 EVC 相连。当增加一个新的 UNI 时，它也连接到这个多点 EVC 上，这样就简化了配置以及业务激活的过程。从用户的角度看，EPLn 业务使得城域以太网就像一个局域网。

一个 EPLn 业务可以生成众多的业务。最简单的形式是，EPLn 业务可以提供没有性能保证的尽力而为业务；比较复杂的形式是，EPLn 业务可以在两个不同速率的 UNI 之间提供承诺信息速率（CIR）、峰值信息速率（PIR）、允许突发值、帧时延、帧抖动以及帧丢失等性能保证。

EPLn 业务在 UNI 处支持 EVC 的业务复用。例如，在一个 UNI 处可以支持一个 EPLn 业务（多点到多点 EVC）以及一个 EPLn（点到点 EVC）业务。EVPL 可以用来连接因特网，而 EPLn 可以用来连接其他的用户，这两种业务都是通过 UNI 处的 EVC 业务复用来提供的。

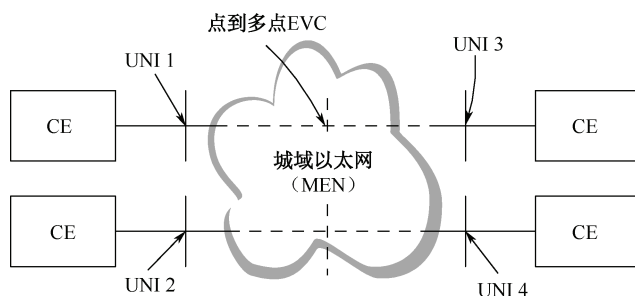


图 2.14 多点 EVC 构成的 EPLn 业务

例如，如果用户希望拥有高速的因特网连接，一个最常见的业务就是点到点 EVC 构成的 EVPL 业务，如图 2.15 所示。

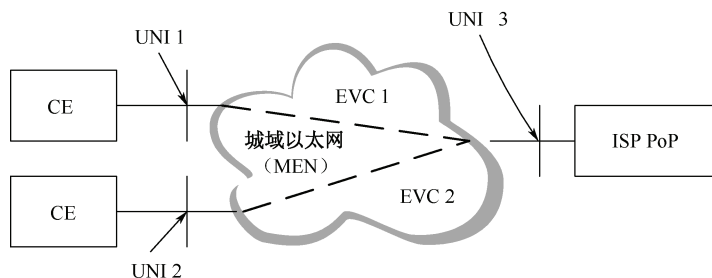


图 2.15 专用因特网接入

若一个用户希望通过 BGP 来多宿主到两个或者多个 ISP，在这种情况下，用户可采用独立的 EVPL 业务来连接到不同的 ISP。如果希望利用同一个 UNI 来支持两个因特网接入以及城域网中的一个 Intranet 或者 Extranet 连接，那么也应该采用单独的 EVC。

典型的 ISP 业务是在一个高速以太网 UNI 上复用用户，参见图 2.15，ISP 可能具有一个 1 Gb/s 的 UNI (UNI 3)，用户的 UNI 1 和 UNI 2 可以是 100 Mb/s。其中，在用户的 UNI 1 和 UNI 2 处没有业务复用，只在 ISP 的 UNI (UNI 3) 处执行业务复用。因此，用户的 UNI 1 和 UNI 2 具有到 ISP PoP 的专用以太网连接。

以太网电路仿真（CES）业务

CES 业务即向用户提供的 TDM 电路仿真业务，如 T1/E1、T3/E3 和 OC-3/12。城域网提供具有互通功能（IWF）的设备或接口，向用户在 PBX 间提供仿真 TDM 电路。

基于VPLS的城域以太网

VPLS 是一种用于企业机构局域网互连的解决方案。它能够有效地结合多协议标签交换（MPLS）、VPN、以太网交换等多种技术的特点，为广域范围内的多点到多点 LAN 互连提供

实现基础。从连接方式上看, VPLS 利用 MPLS 的城域骨干网络为企业用户提供了一种仿真的 LAN 连接, 因此也称为透明的 LAN 范围 (TLS)。这里的透明是指对于用户而言, 骨干网的结构是不可见的, 用户的分支局域网好像都连接在一个单一的桥接网络上。从网络拓扑结构与运营维护来看, VPLS 则提供了与 VPN 类似的服务, 唯一的区别在于 VPLS 的网络边缘结点采用了数据链路层 (即第 2 层) 桥接技术, 而 VPN 则采用了第 3 层路由技术。VPLS 网络结构如图 2.16 所示。

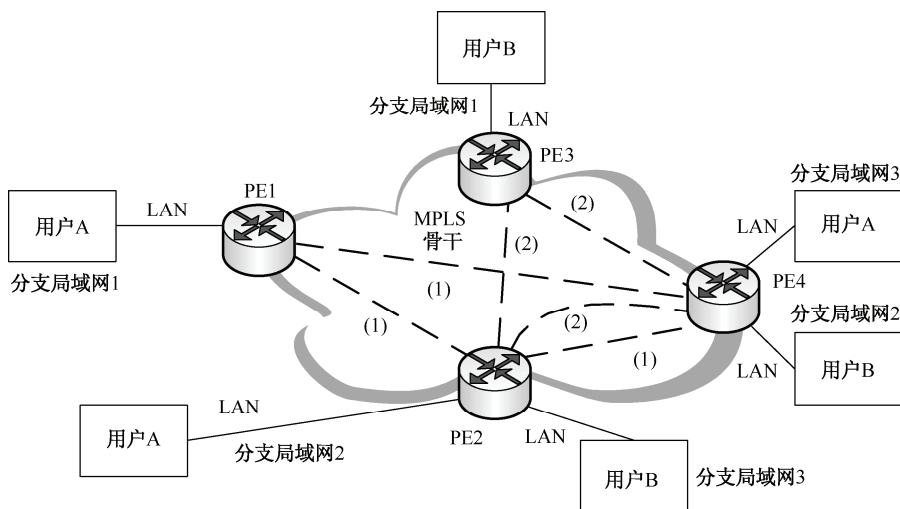


图 2.16 VPLS 网络结构

在图 2.16 中, 显示了企业用户 A 与 B 分别通过 VPLS 服务连接各自的 3 个分支局域网, 虚线 (1) 表示用户 A 的数据流, 虚线 (2) 表示用户 B 的数据流。其关键在于网络运营商的边缘路由器 (PE), 在 PE 上运行了支持 VPLS 相关特性的协议。用户的各个分支局域网通过 PE 接入网络运营商的 IP/MPLS 骨干, 并形成一个个得力的 VPLS 域, 属于同一个 VPLS 域的各个分支局域网相互之间可以以 LAN 方式传递数据流。一个 PE 上的不同接口可以分别用于不同 VPLS 用户的接入。这时, PE 上为每一个 VPLS 用户创建一个分离的 VPLS 进程, 用于该 VPLS 域的通信管理。这样就保证了即使是多个企业用户通过同一个骨干网络, 它们的数据流也是逻辑上相互独立的, 互不影响, 也充分保证了用户数据的保密性。

为了完成不同分支站点的连接, 在服务于同一 VPLS 域的 PE 之间需要建立全网状的连接, 这是通过 MPLS 的标签交换路径 (LSP) 建立的数据隧道。PE 向用户提供基于以太网的桥接接入方式, 也就是说, PE 可以直接接收来自用户分支局域网的以太网封装格式的数据帧, 并根据数据帧携带的 MAC 地址信息决定将数据转发到合适的 LSP 上, 以送达另一端的分支局域网。

PE 上运行的 VPLS 协议支持特性, 使得 PE 上用于连接用户网络的接口可以像一个桥接设备一样提供第 2 层交换和 MAC 地址学习的能力。通过 MAC 地址的学习, PE 上的每一个

VPLS 进程都为自己的 VPLS 域创建并维护一个 MAC 地址表。当接收到数据帧时, VPLS 进程首先检查帧头中的目的 MAC 地址与 MAC 地址表中的表项是否匹配。如果匹配, 则将数据帧直接转发到对应的 LSP 上进行传输; 如果不匹配, 则同一数据帧被广播到服务于同一 VPLS 域的其他逻辑端口上。当 PE 设备从拥有这一 MAC 地址的主机上收到数据而学习到这个地址时, MAC 地址表就被更新, 而接下来的数据帧则可以被正常转发, 这与以太网交换机的工作原理基本相同。与以太网交换机不同的是, PE 上的 VPLS 支持还包含 VPLS 域的 PE 之间的信令机制、BGP 协议。

注意: 利用以太网技术, 运行通用成帧协议 (GFP) 的下一代 SONET/SDH, 或用于桥接式以太网流量的逻辑链路 (如 PVC、T1/E1 TDM、任何虚连接或物理连接) 都可以建立入口网络, 用于连接 CE 与 PE。

练习

1. 简述城域以太网的基本功能结构。
2. 城域以太网论坛 (MEF) 定义了哪几种城域以太网业务?
3. VPLS 与 VPN 的主要区别是什么?
4. 基于 VPLS 的城域以太网是如何实现不同分支结点的连接的?
5. 利用 Web, 研究以太网服务是如何进入城域网的。

第四节 光城域网 (WDM)

目前, 在城域网中应用的 WDM 技术主要有两种: 密集波分复用 (DWDM) 和稀疏波分复用 (CWDM)。DWDM 系统的工作波长是依据国际电信联盟 (ITU) 的标准定义的, 其波长间距一般为 200 GHz (1.6 nm)、100 GHz (0.8 nm) 或 50 GHz (0.4 nm)。CWDM 波长信道间距一般为 20 nm。由于城域网传输距离短 (一般为 100 km 以内), 不需要使用放大器, 增加一根光纤成本也不高, 如果简单采用和广域网一样的 DWDM 设备, 无疑将得不偿失。解决的方法是采用 CWDM (Coarse WDM, 稀疏波分复用) 技术。

学习目标

- ▶ 了解 DWDM、CWDM 的技术特点;
- ▶ 掌握 CWDM 在城域网中的组网方案。

关键知识点

- ▶ CWDM 设备应用于环网核心网。

DWDM与CWDM

密集波分复用 (Dense Wavelength division Multiplexing, DWDM) 是一项用来在现有的光纤骨干网上提高带宽的激光技术。更确切地说, 该技术是在一根指定的光纤中, 多路复用单个光纤载波的紧密光谱间距, 以便利用可以达到的传输性能 (例如, 达到最小程度的色散或者衰减), 在给定的信息传输容量下, 减少所需光纤的总数量。例如, 若计划复用 8 个光纤载波 (OC), 即一根光纤中传输 8 路信号, 传输容量将从 2.5 Gb/s 提高到 20 Gb/s。目前, 由于采用了 DWDM 技术, 单根光纤可以传输的数据流量最大可以达到 400 Gb/s。

DWDM 的一个重要特性是协议与传输速率不相关。基于 DWDM 的网络可以采用 IP 协议、SDH/SONET、以太网协议来传输数据, 处理的数据流量在 100 Mb/s~2.5 Gb/s 之间。这样, 基于 DWDM 的网络可以在一个激光信道上以不同的速度传输不同类型的数据流量。从 QoS (服务质量) 的观点来看, 基于 DWDM 的网络以低成本方式快速响应了客户的带宽需求。

目前, DWDM 系统可提供 16/20 波或 32/40 波的单纤传输容量, 最大可到 160 波, 具有灵活的扩展能力。用户初期可建 16/20 波的系统, 之后根据需要再升级到 32/40 波, 这样可以节省初期投资。有两种升级方案可供选择: 一种是在 C 波段红带 16 波加蓝带 16 波升级为 32 波; 另一种是采用 interleaver, 在 C 波段由 200 GHz 间隔 16/32 波升级为 100 GHz 间隔 20/40 波。若要进一步扩容, 可采用 C+L 波段的扩容方式, 使系统传输容量扩充为 160 波。

城域 DWDM 在系统结构上部分继承了长途骨干网 DWDM 的技术特点, 同时在业务的接入种类和组网的灵活性上做了大量改进, 使之适合于城域网的环网应用。目前, 城域网 DWDM 技术已经非常成熟。

城域网的特点是距离短, 业务接口复杂, 如果继续采用 DWDM 技术, 成本就会太高。于是, 稀疏波分复用 (Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM) 应运而生, 并迅速得到广泛应用。

稀疏波分复用 (CWDM) 也称粗波分复用技术, 是一种面向城域网接入层的低成本 WDM 传输技术。从原理上讲, CWDM 就是利用光复用器将不同波长的光信号复用至单根光纤进行传输; 在链路的接收端, 借助光解复用器将光纤中的混合信号分解为不同波长的信号, 连接到相应的接收设备。

CWDM 技术与 DWDM 的主要区别在于: 相对于 DWDM 系统中 0.2~1.2 nm 的波长间隔, CWDM 具有更宽的波长间隔, 业界通行的标准波长间隔为 20 nm。由于 CWDM 系统的波长间隔宽, 所以对激光器的技术指标要求较低。因波长间隔达到 20 nm, 所以系统的最大波长偏移可达 $-6.5^{\circ}\text{C} \sim +6.5^{\circ}\text{C}$, 激光器的发射波长精度可放宽到 $\pm 3 \text{ nm}$, 而且在工作温度范围 ($-5^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$) 内, 温度变化导致的波长漂移仍然在容许范围内, 激光器无须采用温度控制机制, 所以激光器的结构大大简化, 成品率提高。

另外, 较大的波长间隔意味着可简化光复用器/解复用器的结构。例如, CWDM 系统的滤波器镀膜层数可降为 50 层左右, 而 DWDM 系统中的 100 GHz 滤波器镀膜层数约为 150 层。

CWDM 滤波器的成本比 DWDM 滤波器的成本要少 50%以上,而且随着自动化生产技术和批量的增大会进一步降低。

CWDM 技术一般应用于中小型城域网或大型城域网的汇聚层、接入层,其波长数目一般为 4 波或 8 波,最多 16 波,波长范围为 1 290~1 610 nm (16 波系统)。美国的 1 400 nm 商业利益组织正在致力于为 CWDM 系统制订标准。目前建议草案考虑的 CWDM 系统波长栅格分为 3 个波段:“O 波段”包括 4 个波长,即 1 290 nm、1 310 nm、1 330 nm 和 1 350 nm;“E 波段”包括 4 个波长,即 1 380 nm、1 400 nm、1 420 nm 和 1 440 nm;“S+C+L”波段包括从 1470 nm 到 1610 nm、间距为 20 nm 的 8 个波长。这些波长利用了光纤的全部光谱,包括在 1310、1510 和 1550 nm 处的传统光源,从而增加了复用的信道数。20 nm 的信道间距允许利用廉价的不带冷却器的激光发射机和宽带光滤波器,同时也躲开了 1270 nm 高损耗波长,并且使相邻波段之间保持了 30 nm 的间隙。

由于 CWDM 技术具有价格低廉、结构简单、灵活多样等特点,特别适合我国绝大部分地区的城域网建设需要。DWDM 技术作为一种有效的线路带宽扩容方法,在长途骨干网上得到了广泛应用,正在成为日益增长的城域网主流技术。

CWDM 在城域网中的组网方案

CWDM 技术是应宽带 IP 城域网的需求发展起来的,将 CWDM 传输系统和高性能路由器、交换机连接起来就构成了宽带 IP 城域网。另外一个趋势是将 CWDM 光传输设备和路由器、交换机结合在一起,可以由路由器、交换机端口直接驱动光传输设备。最简单情况是当一根光纤只传输一路数据时,在裸光纤上直接运行吉位以太网 (GE)。如果需要传输多路数据,可采用 CWDM 系统,根据需要逐步增加波长通道。

CWDM 以其明显的成本优势已成为城域网核心层和汇聚层的理想选择,能够凭借灵活多样的组网方式构成不同的解决方案。也就是说, CWDM 系统组网方式灵活多样,可以组成点到点、点到多点、环状、星状、链状等各种拓扑结构。一般在核心骨干层采用背靠背的方式实现多个环网或通道的叠加,在汇聚层采用环网的逻辑星状或双星状网络,在接入层采用链状或点到点的组网方式。当然,实际的网络需求相当复杂,要针对不同的用户环境选用最恰当的网络结构。较常用的组网方案有以下几种。

城域网环状拓扑组网方案

城域网将信息从高速骨干网传送到最终用户。宽带城域网从层次上可划分为城域核心网 (Metro Core)、城域汇聚网 (Metro Convergence)、城域接入网 (Metro Access) 和用户驻地网络 (CPN)。

CWDM 技术可以适应多种网络复杂的环境。从城域核心局到多个分支局间的不同业务传送,到汇聚局与客户端之间的接入网络建设,都可以采用 CWDM 技术。采用 CWDM 接入传输多种数据业务,能够实现互不干扰,且各客户的业务传送能够得到可靠、安全的保证。CWDM

还可与EPON或APON组成无源光网络，与DISLAM一起进行互连，为实现光纤到大楼用户（FTTH）提供很好的解决方案，实现多种业务的融合。

宽带城域核心网将高速骨干网的信号传送到较低层次的光通道上，其容量比较高；城域接入网将城域核心网的高速信息传送到用户驻地网，其信息容量较城域核心网小；用户驻地网将城域接入网的信号进一步传送到用户。为了节省大量的光纤资源，同时实现多种业务的融合，在城域核心网或接入网中宜采用 CWDM 组环，CWDM 设备应用于环状核心网，如图 2.17 所示。

CWDM 分插复用设备可以将 SDH 业务、IP 业务、视频图像业务通过一条物理光纤环实现多个逻辑环的叠加。每个环上承载一个独立的业务，互不干扰。

对于具体的网络构建，以两波为例，如图 2.17 所示，环形线表示一对物理光纤环的环状逻辑，每段光纤上复用两波，在各个 CWDM 结点放置 1 台 CWDM OADM 设备（两波上下），对于具体的业务接入设备，如 IP 路由器和 SDH ADM 设备，分两路分别接入 CWDM OADM 设备。

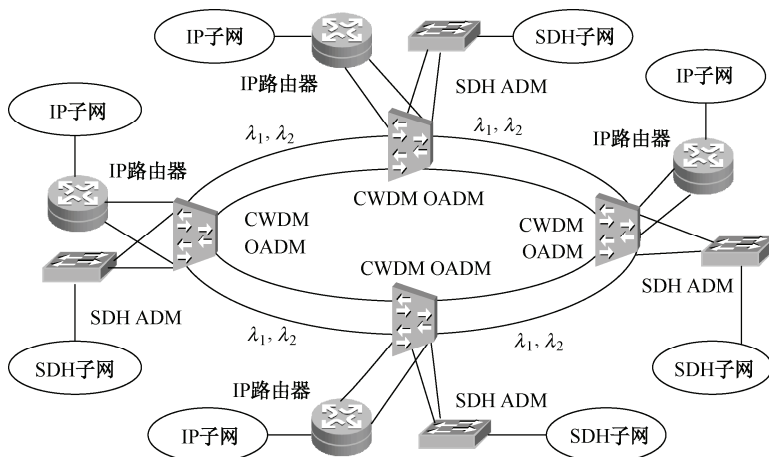


图 2.17 CWDM 设备应用于环状核心网

在这种“物理环网+逻辑环网”的组网方式中，整个逻辑环实质上是采用一段一段的“点到点”波分复用传输组成的。所以整个环的长度没有限制，点数越多，距离越长，但两点之间的距离不允许超过 80 km。

CWDM 设备用于核心网的主要优点如下：

- ▶ 8 路业务可以复用到一对光纤上；
- ▶ 支持多种业务传送，包括 IP、SDH、ATM、POS、图像、Fiber Channel 等业务；
- ▶ 目前可以在一根光纤上提供高达 20 Gb/s 的业务带宽；
- ▶ 提供物理层的通道和复用段保护能力，增强了数据网络的可靠性，可以使倒换时间低于 50 ns，比通过三层的冗余路由保护效率高。

CWDM 分插复用设备可以与终端复用设备结合使用,通过一条物理光纤环实现一个具有保护功能的逻辑上的双星状结构。具体连接如图 2.18 所示,图中采用一对光纤组成网络上的环状结构,虚线表示连接环上的双星状结构。这种逻辑双星状结构,每个汇聚层路由器(或者第 3 层交换机)到核心路由器(交换机)之间都有一条冗余路径,从而提高了网络的可靠性。这种 CWDM 设备的物理环状连接,与以往的网络双星状连接相比要节省光纤资源。

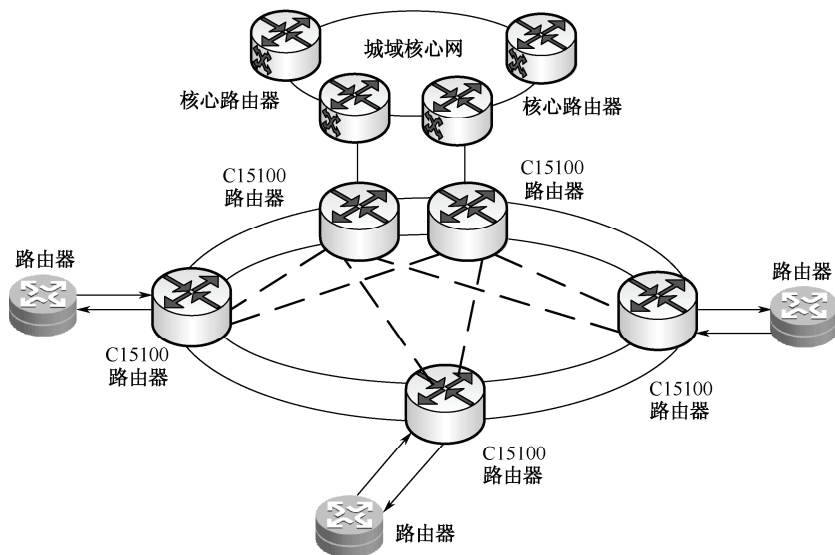


图 2.18 CWDM 设备用于逻辑双星状汇聚层网络

城域点到点拓扑组网方案

点到点的拓扑组网方案可以利用现有的有限光纤资源,以数倍于现有传输容量的带宽实现两点之间多业务的双向汇聚,比传统的 DWDM 具有更高的性价比。CWDM 应用于城域点到点拓扑组网方案如图 2.19 所示。

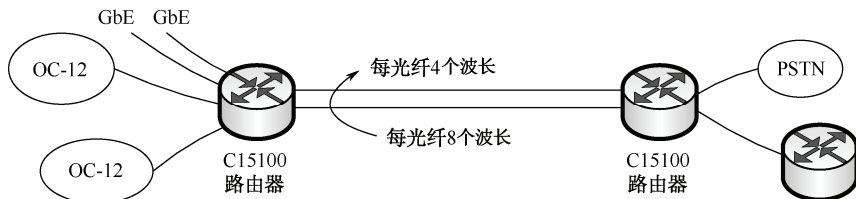


图 2.19 CWDM 应用于城域点到点拓扑组网方案

城域点到多点拓扑组网方案

通常,为实现在光网络中点到多点的应用,需要较多数量的光纤组成星状拓扑。在光纤资

源不足的情况下,利用一条光路串接需要传输数据的各个分局,通过事先定义波长来区分用户和业务,在各个业务结点利用 CWDM 的终端复用设备和分插复用设备,实现地区业务的复用传输和业务的上下传输。通过这种方式可解决中心结点 to 多个分支结点间的不同业务传送,从而用一条简单的物理光路实现逻辑上的星状拓扑结构,如图 2.20 所示。

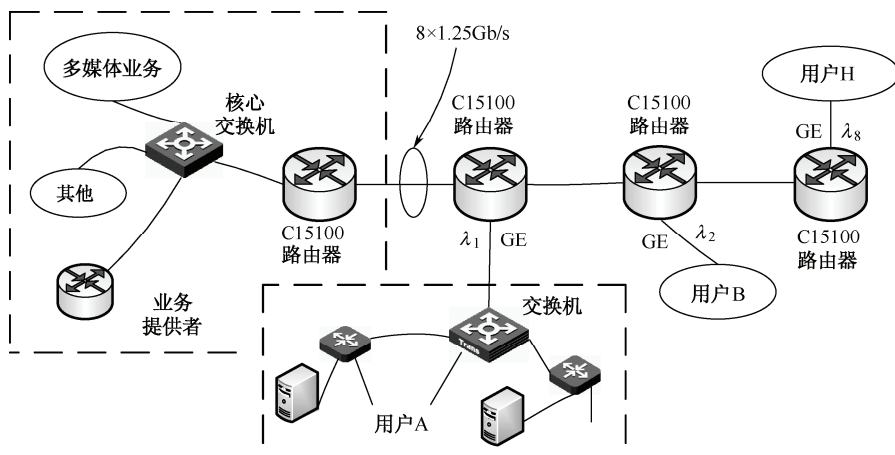


图 2.20 CWDM 应用于城域点到多点拓扑组网方案

通过以上几种组网方案可知, CWDM 系统是一种适合宽带城域网使用的波分复用系统。它的出现解决了长期困扰城域网建设的性价比问题,而且最大限度地利用了现有城域光纤基础设施,满足了未来小型城域网和大型城域网汇接、接入层业务所需的带宽。当然, CWDM 技术也有其不足之处,比如要建设一个 16 波的 CWDM 系统,其带宽范围覆盖了近 400 nm 的光纤工作窗口,其中包括 1380 nm 的高衰减区,普通的光纤介质根本无法适应,需敷设全波光纤才能满足要求。

ASON 在城域网中的应用

自动交换光网络(ASON)是目前能够实现的智能传输网络协议,其实质就是在传输网中引入动态交换。ASON 允许将网络资源动态分配给路由,具有恢复能力,使网络在出现问题时仍能维持一定水准的业务,特别是具备分布式恢复能力,可以实现快速业务恢复。ASON 还可以将光网络资源与数据业务分布自动联系在一起,形成一个响应快和成本低的光传输网。同时,ASON 还可以提供大量新的业务类型,如按需带宽业务、波长批发、波长出租、带宽交易、按使用流量付费、光拨号业务、动态路由分配、光层虚拟专用网等。

在城域网中,要实现网络的可管理、可运营,以及城域网的恢复机制,需要引入 ASON。传统意义上的 OXC 仅仅具有静态网络配置能力,主要靠网管系统进行调配,无法适应日益动态的网络和业务环境,特别是随着 IP 业务成为网络的主要业务后,由于 IP 业务量本身的不确定性和不可预见性,对网络带宽的动态分配要求将越来越迫切,网络急需实时动态配置能力,

即智能光交换能力。通过引入 ASON，可提高对城域网动态网络配置能力，形成一个智能化的城域网。

练习

1. 试比较 DWDM 与 CWDM 的技术特点，并说明后者更适用于城域网的原因。
2. CWDM 设备用于城域核心网有哪些优点？
3. 在城域点到多点拓扑组网方案中，是如何实现逻辑上的星状拓扑结构的？

补充练习

1. 利用 Web，研究 WDM 城域网的最新发展。
2. 研究你所在地区已用的 CWDM 城域网解决方案，并画出其拓扑结构。

本章小结

城域网原是与广域网相对应的的概念，数据和电信技术的发展赋予城域网以新的内涵，将城域网的概念延伸到了整个通信网络，泛指在城市及其郊区范围内提供多种业务的所有网络。它是以宽带光传输为开放平台，通过各类网关实现语音、数据、图像、IP 接入和各种增值业务以及智能业务，并与各运营商的长途网和公用电话交换网（PSTN）互通的本地宽带综合业务网。城域网与广域网的主要区别在于城域网的业务范围不仅有语音，还有数据和图像，是全业务网络。城域网需要支持各种用户层信号，而且要能很快地提供用户层信号所需的带宽。局域网的地域限制使各行各业形成了一个个孤岛，广域网的带宽限制又使高速公路上的宽带应用大打折扣，核心问题可归结为带宽与距离的矛盾。而城域网则是解决带宽和增加网络覆盖范围的很好的方法，这使得城域网成为最具发展潜力的一种网络技术。目前，主要的宽带城域网技术方案有 MSTP 城域网、RPR 城域网、城域以太网、光城域网（WDM）等。

MSTP 城域网最大的优点是可以路由传统的网络体系支持多种业务（网络接口和协议），同时简化网络结构。MSTP 将多种业务通过 VC 或 VC 级联方式映射入 SDH 容器进行处理，可以向自动交换光网络/智能光网络（SON/ION）演进。

弹性分组环（RPR）是由 IEEE 802.17 工作组开发的一个标准。弹性分组环技术是一种新兴的城域网技术，它集以太网的经济性、IP 的智能化、光纤环网的丰富带宽和可靠性于一体，是目前宽带 IP 城域网运营商的最佳组网方案。

以太网在城域网中的应用，进一步促进了以太网技术的发展。城域以太网继续保持了以太网价格便宜、简单灵活、容易互连的三大优势。目前，以太网不仅在企业网领域一统天下，而且正向城域网和广域网进军。MEF 已宣布了基于以太网技术统一城域网的工业标准，目标是使之成为可运营的电信级网络。

CWDM能有效节省光纤资源和组网成本,它解决了光纤短缺和多业务透明传输两个问题,主要应用在城域网汇聚和接入层,且可在短时间内建设网络及开展业务。CWDM具有低成本、低功耗、小体积等诸多优点,目前在城域网传输中也已大量应用。

小测验

1. 简述典型城域网的分层组织结构,并说明各分层的功能。
2. 常用的宽带城域网的组网技术有哪些?
3. 举例说明 RPR 环的保护方式。
4. RPR 支持的 3 种业务类型各有什么特点?
5. 城域以太网论坛 (MEF) 定义了哪几种类型的以太网业务?
6. 下列关于 RPR 技术的描述中,错误的是 ()。
 - a. RPR 能够在 30 ms 内隔离出现故障的结点和光纤段
 - b. RPR 环中每一个结点都执行 SRP 公平算法
 - c. 两个 RPR 结点之间的裸光纤最大长度为 100 km
 - d. RPR 的内环和外环都可以传输数据分组和控制分组

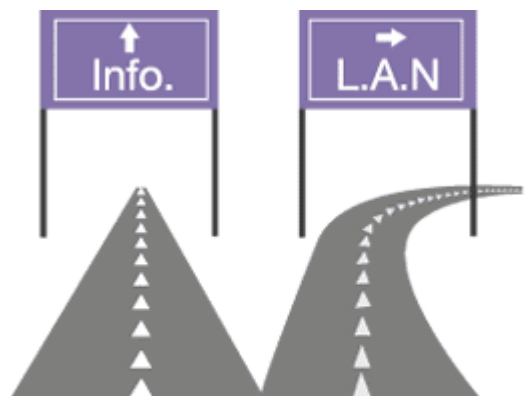
【解答提示】RPR 采用自愈环的设计思想,能够在 50 ms 内隔离出现故障的结点和光纤段。所以选项 a 是错误的。RPR 环中每一个结点都执行 SRP 公平算法,使得结点之间能够获得平等带宽,防止个别结点因流量大而造成环拥塞。RPR 环中每一个结点之间都可以使用两个方向的光纤与相邻结点通信,内环和外环都可以传输数据和控制分组。



第三章

无线城域网

- 1 WiMAX 概述
- 2 WiMAX 体系结构
- 3 WiMAX 物理层
- 4 WiMAX MAC 层
- 5 WiMAX 网的组建



概 述

无线城域网(Wireless MAN, WMAN)又称为 WiMAX,是一种新兴的宽带无线接入(BWA)技术,可以为家庭和企业提供传输速度快、频谱效率高、信道容量大的无线多媒体应用。WiMAX 与现有技术相比,主要优势是:

- ▶ 能够实现 50 km 的无线信号传输距离;
- ▶ 提供最高可达 75 Mb/s 的高速宽带接入;
- ▶ 提供优质的“最后一公里”网络宽带接入服务;
- ▶ 提供广泛的多媒体通信服务。

因此, WiMAX 被认为是一种 4G 技术。由于 WiMAX 取得了巨大成功,国际标准化组织(ISO)非常积极地制定了 IEEE 802.16 一系列标准,同时建立了 WiMAX 论坛,以确保相关标准和技术的兼容性。

WiMAX 提供了点到多点和 Mesh 网络两种工作模式。这两种工作模式在设计中需要具有灵活的可集成性、可迅速开发性、易维护性、可测试性和弹性服务。为了达到这些目的,许多研究机构和组织做出了许多努力,将协议栈分成物理(PHY)层、介质访问控制(MAC)层、网络层和应用层,分别解决其中的技术问题。为了保证系统能够满足全部需求,需要在高效信号处理、网络结构、安全协议、软件架构和灵活的系统设计等方面开展深入的研究。

本章以采用 IEEE 802.16 标准的 WiMAX 为重点,介绍无线城域网的基本概念、技术和标准化等内容,主要包括 IEEE 802.16 标准、WiMAX 网络的组成结构、WiMAX 物理层、MAC 层,以及 WiMAX 的应用场景和网络组建等。

第一节 WiMAX概述

为了满足日益增长的宽带无线接入(BWA)市场需求,推出了无线城域网。虽然多年来 IEEE 802.11 x 技术一直与许多其他专有技术一起用于 BWA,并获得了很大成功,但 WLAN 的总体设计及其所提供的功能并不能很好地适应室外 BWA 应用。当其用于室外时,在带宽和用户数方面受到了限制,同时还存在着通信距离等其他一些问题。基于这些情况,IEEE 决定制订一种新的、更复杂的全球标准,这个标准应能同时解决物理层环境(室外射频传输)和 QoS 两方面的问题,以满足 BWA 和“最后一公里”接入需要。

在无线局域网(WLAN)势头正劲之际,提出了无线城域网(WMAN)技术。和为无线局域网制定 IEEE 802.11 标准一样,IEEE 为无线城域网推出了 IEEE 802.16 系列标准,同时业界也成立了类似 WiFi 联盟的 WiMAX 论坛。无线城域网技术为何会紧跟 WLAN 之后出现? IEEE 802.16 是一个什么样的标准? WiMAX 的使命又是什么?这是本节所要讨论的一些基本内容。

学习目标

- ▶ 了解无线城域网的概念和 IEEE 802.16 标准系列;
- ▶ 了解 WiMAX 关键技术。

关键知识点

- ▶ WiMAX 技术是实现无线城域网数据传输的关键。

IEEE 802.16 工作组

解决“最后一公里”网络接入问题,关键在于如何将光纤或者同轴电缆敷设到成千上万的家庭、公共服务场所。显然,其代价是非常昂贵的,最好的解决办法是采用宽带无线网络。于是,1999 年 IEEE 设立了 IEEE 802.16 工作组,专门从事研究和推进全球统一的无线城域网技术。

IEEE 802.16 工作组主要负责开发工作在 2~66 GHz 频带的无线接入系统空中接口物理层和介质访问控制(MAC)层规范、与空中接口协议相关的一致性测试,以及不同无线接入系统之间共存的规范等,涉及 MMDS、LMDS 等技术。它由 3 个工作小组组成,每个工作小组分别负责不同的方向:

- ▶ IEEE 802.16.1 负责制定频率为 10~66 GHz 的无线接口标准;
- ▶ IEEE 802.16.2 负责制定宽带无线接入系统共存方面的标准;
- ▶ IEEE 802.16.3 负责制定频率在 2~10 GHz 之间获得频率使用许可权可应用的无线接口标准。

IEEE 802.16 工作组制定的用户收发信机与基站收发信机之间的无线接口和协议标准按照以下三层体系结构组织:

- ▶ 物理层——三层结构中的最低层,该层协议主要涉及频率带宽、调制方式、纠错技术以及发射机同接收机的同步、数据传输速率和时分复用等。
- ▶ 数据链路层——在物理层之上,该层主要规定了为用户通过服务所需的各种功能。由于这些功能都在介质访问控制(MAC)层,因此也称之为 MAC 层。MAC 层主要负责将数据组成帧进行传输,如何将用户接入共享的无线介质。
- ▶ 汇聚层——在 MAC 层之上,该层能够根据所提供的不同服务,实现不同的功能。该层也可归属于数据链路层。

IEEE 802.16 工作组每隔两个月召开一次会议,为期一周。目前有来自 12 个国家、144 个公司的 200 名成员和官方观察员。IEEE 802.16 的会员资格可以通过亲身参会取得,会员属于个人,会员具有选举权。

IEEE 802.16 系列标准

在 IEEE 802.16 工作组的努力下，陆续推出了 IEEE 802.16、IEEE 802.16a、IEEE 802.16d、IEEE 802.16e 等一系列标准。最早的 IEEE 802.16 标准于 2001 年 12 月获得批准，是针对 10~66 GHz 高频段视距（LOS）环境而制定的无线城域网标准。但目前所说的 802.16 标准主要是 802.16a、802.16RevD 和 802.16e 三个标准。802.16a 是为工作在 2~11 GHz 频段的非视距（NLOS）宽带固定接入系统设计的，于 2003 年 1 月获得 IEEE 批准；802.16RevD 是 802.16a 的增强型，主要目的是支持室内用户终端设备（CPE）；IEEE 802.16e 是 IEEE 802.16a/d 的进一步延伸，目的是在已有标准中增加移动性。IEEE 802.16 系列标准的研究情况如表 3.1 所示。

表 3.1 IEEE 802.16 相关标准体系

类别	标准序号	标 准 名 称	技 术 说 明	发布时间
空 中 接 口 标 准	IEEE 802.16-2001	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分： 固定宽带无线接入系统的空中接口	规定了多业务点对多点宽带无线接入系统的空中接口，包括 MAC 层和物理层，点对多点拓扑结构，还包括一个特殊的物理层实现方案	2002.4
	IEEE 802.16a	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分： 固定宽带无线接入系统的空中接口： MAC 修改和 2~11 GHz 附加物理层规范	在 2~11 GHz（包括许可带宽和免许可带宽）的频段上，对 MAC 层进行修改扩展和对物理层基础补充规范，并给出了 ARQ 等增强性能的技术	2003.1
	IEEE 802.16c	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分： 固定宽带无线接入系统的空中接口： MAC 修改和 10~66 GHz 详细系统介绍	对 802.16c 和 802.16.2-2001 中的错误和矛盾进行了修改，更新扩展了 802.16 的部分内容，列出了用于典型情况下的特征功能集合。其频率适用范围为 10~66 GHz	2002.12
	IEEE 802.16d (IEEE 802.16-2004)	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分： 固定宽带无线接入系统的空中接口： MAC 修改和 2~11 GHz 详细系统介绍	WiMAX 的基础，802.16a 的替代版本，支持高级天线系统（MIMO），其目的与 802.16c 一样，只不过频率适用范围为 2~11 GHz	2004.6
	IEEE 802.16e	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分： 移动宽带无线接入系统的空中接口的修正：低于 6 GHz 许可带宽的移动业务的物理层和 MAC 层修改	这是对 802.16 与 802.16a 的增强，支持用户站以车载速度移动。规定了一个系统如何结合固定和移动宽带无线接入，规定了在基站或扇区之间支持高速切换功能，适用于 2~66 GHz 之间的许可宽带的移动业务	2005.12
	IEEE 802.16f-2005	IEEE 局域网和城域网标准修改，第 16 部分：固定宽带无线接入系统的空中接口	固定和移动宽带无线接入系统空中接口 MIB 要求，扩展后能够提供网状网要求的多跳能力	2005.9

续表

类别	标准序号	标 准 名 称	技 术 说 明	发布时间
空中接口标准	IEEE 802.16g-2007	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分：固定或移动宽带无线接入系统的空中接口修改 3：管理平面流程与服务	固定和移动宽带无线接入系统空中接口管理平面流程和服务要求，对移动网络提供高效转发和 QoS 保障	2008.3
	IEEE 802.16h-2010	IEEE 局域网和城域网标准第 16 部分：宽带无线接入系统的空中接口修改 2：改进的免授权系统的共存装置	在 IEEE 802.16 制定的 QoS 要求下，利用感知无线电技术让多个系统共用资源，以确保基于 IEEE 802.16 的免授权系统之间的共存以及与授权系统之间的共存，即将感知无线电技术用于空中接口，使其更适合非许可频段	2010.6
共存问题标准	IEEE 802.16.2-2001	IEEE 局域网和城域网操作规程建议：固定宽带无线接入系统的共存	10~66 GHz 固定宽带无线接入系统的共存	2001.9
	IEEE 802.16.2a	对 IEEE 802.16.2 的修改	802.16.2a: 2~11 GHz 之间许可带宽的系统共存	2003.4
一致性标准	IEEE 802.16.1	IEEE 802.16 一致性标准第 1 部分：10~66 GHz 无线 MAN2SC 空中接口协议实现的一致性说明（PICS）	10~66 GHz 无线 MAN2SC 空中接口的协议实现一致性说明（PICS）	2003.6
	IEEE 802.16.2	IEEE 802.16 一致性标准第 2 部分：10~66GHz 无线 MAN2SC 空中接口的测试集结构和测试目的（TSS&TP）	10~66 GHz 无线 MAN2SC 空中接口的测试集结构和测试目的（TSS&TP）	2004

IEEE 802.16 规定的无线通信系统主要应用于城域网。根据是否支持移动特性，IEEE 802.16 标准可以分为固定宽带无线接入空中接口标准和移动宽带无线接入空中接口标准。其中 802.16、802.16a、802.16d 属于固定无线接入空中接口标准，802.16e 属于移动宽带无线接入空中标准。由于 802.16d 基本上是对 802.16、802.16a 和 802.16c 的修订，因此通常认为，802.16d 和 802.16e 是目前 802.16 中的两个主要空中接口标准，分别应用于固定和移动通信系统设计。

制定 IEEE 802.16 标准的主要目的，是使通信公司和服务提供商通过建设新的无线城域网，为目前仍然缺少宽带服务的企业与住宅区提供服务。换言之，符合 IEEE 802.16 标准的设备可以在“最后一公里”宽带接入领域替代 Cable Modem、xDSL 和 T1/E1，也可以为 IEEE 802.11 热点提供回传。IEEE 802.16 提供了一个支持语音、视频、图像等低时延应用协议，在用户终端和基站（BS）之间允许非视距宽带连接，一个基站可支持成百上千个用户，在可靠性和 QoS 方面提供电信级的性能。

很自然，有人会提出这样的疑问：为什么要制定一个新的无线标准？为什么不使用 IEEE 802.11 或 3G？事实上，IEEE 802.16 结合了 IEEE 802.11 和 3G 两方面的优势，使其看起来更像 4G 技术。在技术和应用方面，WiMAX 和 4G 技术看起来处于一种冲突的过程。也许，这种交汇不足为奇，毕竟因特网（Internet）是杀手级应用，而 OFDM 与 MIMO 恰好是有效利用频谱的一种技术。

WiMAX论坛

IEEE 802.16 工作组主要负责对无线城域网的物理层和 MAC 层制定规范和标准。虽然标准的制定是某项技术被广泛接纳的关键，但事实表明，一个标准的颁布并不意味着这项技术就一定会被市场所接纳。要被市场广泛认可，必须克服互操作性和部署成本等障碍，其中互操作性更为重要。互操作性意味着最终用户可以购买自己喜爱的品牌，拥有他们想要的功能，并知道它怎么与其他认证过的类似产品一起工作。要真正获得市场，产品必须首先被认证是符合标准的，然后还必须证明它们是可以互操作的。但克服上述障碍并不是 IEEE 的职能，需要业界来做。例如，IEEE 802.11b 标准是在 1999 年得到批准的，但在 WiFi 联盟引入互操作性认证之前，并没有被广泛接纳，可互操作的 IEEE 802.11b 设备直到 2001 年才得以面世。

出于同样的原因，为了形成一个可运营的网络，IEEE 802.16 技术必然需要业界的支撑，于是在 2001 年 4 月成立了全球微波接入互操作性（WiMAX）论坛组织，当时就是为了 10~66 GHz 频段的 IEEE 802.16 原始规范而成立的。从此，WiMAX 成为 IEEE 802.16 的代名词，与之相关的无线城域网技术也被称为“WiMAX 技术”。

WiMAX 是一个非营利性的工业贸易组织，主要由领先的通信元器件公司和通信设备公司所组成。目前该组织拥有近 300 个成员，其中包括 Alcatel、AT&T、FUJITSU、英国电信、诺基亚和英特尔等行业巨头。随着业界对 IEEE 802.16 技术越来越关注，加入 WiMAX 论坛组织的成员也越来越多，WiMAX 论坛陆续成立了认证工作组（CWG）、技术工作组（TWG）、频谱工作组（RWG）、市场工作组（MWG）、需求工作组（SPWG）、网络工作组（NWG）和应用工作组（AWG）。与此同时，该组织的目标也逐步扩展，除认证工作之外，还致力于可运营的宽带无线接入系统的需求分析、应用场景探索和 WiMAX 网络架构研究等工作。WiMAX 论坛有力地促进和推动了宽带无线接入技术和应用的发展。

WiMAX 系统关键技术

WiMAX 系统的物理层和介质访问控制（MAC）层技术基于 IEEE 802.16 标准。WiMAX 网络利用无线发射塔或天线，能提供面向因特网的高速连接，可以提供数据、语音、视频等各类服务，这与其关键技术的支持是密切相关的。这些关键技术包括正交频分复用（OFDM/OFDMA）技术、自适应多天线技术、链路自适应技术、快速资源调度技术、安全性保障等。

OFDM/OFDMA 技术

OFDM/OFDMA 是一种高速传输技术，是未来无线宽带接入系统和下一代蜂窝移动通信系统的关键技术之一。由于它易于宽带无线通信系统的低复杂度实现，OFDM/OFDMA 已成为各种宽带无线移动通信系统的首选多址技术。

在 WiMAX 系统中, OFDM 技术是物理层技术, 主要有以下两种应用方式:

- ▶ OFDM 物理层——WiMAX 的 OFDM 物理层采用 OFDM 调制方式, OFDM 正交载波集由单一用户产生, 为单一用户并行传送数据流。支持 TDD 和 FDD 双工方式, 上行链路采用 TDMA 多址方式, 下行链路采用 TDM 复用方式, 可以采用发射分集 (STC) 以及自适应天线系统 (AAS)。
- ▶ OFDMA 物理层——WiMAX 的 OFDMA 物理层采用 OFDMA 多址接入方式, 支持 TDD 和 FDD 双工方式, 可以采用 STC 以及 AAS。OFDMA 系统可以支持长度为 2048、1024、512 和 128 的 FFT 点数, 通常向下数据流被分为逻辑数据流。这些数据流可以采用不同的调制及编码方式以及以不同信号功率接入不同信道特征的用户站。向上数据流子信道采用多址方式接入, 通过下行发送的介质访问协议 (MAP) 分配子信道来传输上行数据流。

虽然 OFDM 技术对相位噪声非常敏感, 但是其标准定义了可扩展的 FFT, 可以根据不同的无线环境选择不同的调制方式, 以保证系统能够高性能地工作。

自适应多天线技术

多天线技术, 是指在发送端或接收端都采用多根天线的无线通信技术。采用多天线技术可获得功率增益、空间分集增益、空间复用增益、阵列增益和干扰抑制增益, 从而在不显著增加无线通信系统成本的同时, 提高系统的覆盖范围、链路的稳定性和系统的传输速率。宽带无线接入系统的一个先决条件就是能够在视距 (LOS) 与非视距 (NLOS) 条件下, 保持高性能运行。WiMAX 支持各种先进的自适应天线技术, 主要有以下三种:

- ▶ 波束成形 (BF) —— 基于自适应天线原理, 利用天线阵列通过先进的信号处理算法分别对各物理天线进行加权处理;
- ▶ 空间分集 (SD) —— 在空间引入信号冗余, 以达到分集的目的;
- ▶ 空间复用 (SM) —— 在每根天线上的同一时频资源上发送不同信息, 以达到在不增加频谱资源情况下成倍提高频谱效率的目的。

通常人们将空间分集和空间复用技术称为多输入多输出 (MIMO) 技术。波束成形 (BF) 技术在同一时刻只发射一个数据流, 没有复用增益, 尤其是当信道质量较好时, 使用波束成形带来的传输速率提升并不明显。因此, 为了进一步提高系统传输速率, 可将波束成形技术与 MIMO 结合起来。空间分集与波束成形的结合, 称为空间分集波束成形 (SD+BF); 而空间复用与波束成形的结合, 则称为空间复用波束成形 (SM+BF)。

链路自适应技术

在采用 OFDM/OFDMA、自适应天线等物理层技术的基础上, WiMAX 的 MAC 层还采用了如下一系列先进技术, 以确保 WiMAX 系统的性能。

- ▶ 采用自动重传请求 (ARQ) 和混合自动重传请求 (HARQ) 机制来快速应答和重传纠错;
- ▶ 采用自动功率控制技术来降低信道间的干扰;

- ▶ 采用自适应调制编码技术来提高传输速率。

快速资源调度技术

无线网络中的信道资源调度技术，是指在网络数据到达的结点处，对到达的各种业务的数据包进行排队、分配网络无线资源，如信道码、时隙和频率等，以最大限度地提高无线网络资源的利用率，满足多个用户的需要。WiMAX 提供了面向连接的 MAC 协议及 QoS 服务。它采用时分多址方式，可以是 TDD 模式或者 FDD 模式。WiMAX 系统定义了业务的服务质量参数，提供面向连接的 QoS 保障。在 TDMA+OFDM/OFDMA 多址方式下，WiMAX 可按用户需求动态地分配传输带宽，在多用户、多业务的情况下提高频谱和设备的利用率。

安全性保障

为增强无线传输系统的安全性，IEEE 802.16 在 MAC 层定义了一个安全子层来提供安全保障。安全子层主要包括以下两个协议：

- ▶ 数据加密封装协议；
- ▶ 密钥管理协议（PKM）。

WiMAX主要技术参数

WiMAX 论坛是 IEEE 802.16 标准的大力支持者，之所以能得到众多通信公司的支持，与 WiMAX 所具有的技术优势是分不开的。WiMAX 主要技术性能参数如表 3.2 所示。

表 3.2 WiMAX 主要技术性能参数

技术参数	IEEE 802.16d	IEEE 802.16e
频段	2~11 GHz	<66 GHz
带宽	1.75~20 MHz	1.25~20 MHz
子载波数	256（OFDM）；2048（OFDMA）	256（OFDM）；128、512、1024、2048（OFDMA）
移动性	固定或便携	中低车速移动
传输条件	LOS（视距）、NLOS（非视距）	
峰值速率	75 Mb/s（20 MHz）	15Mb/s（5MHz）
调制方式	QPSK、16-QAM、64-QAM	
接入控制	主动带宽分配、轮询、竞争接入相结合	
QoS	支持 5 种 QoS 等级：UGS、rtPS、ertPS、nrtPS、BE	
省电模式	不支持	支持空闲（Idle）、睡眠模式
链路自适应	AMC、功率控制、HARQ	
双工方式	TDD、FDD	
小区间切换	不支持	支持

由表 3.2 可知, WiMAX 的技术优势主要体现在它集成了 WiFi 无线接入技术的移动性、灵活性, 以及 xDSL 等基于线缆的宽带接入技术的高带宽特性, 可概括为以下几点:

- ▶ 传输距离远, 接入速度快, 应用范围广——WiMAX 采用 OFDM 技术, 能有效地抗多径干扰。同时, 采用自适应编码调制技术, 可以实现覆盖范围和传输速率的折中; 利用自适应功率控制, 可以根据信道状况动态调整发射功率。正因为采用了这些技术, WiMAX 的无线信号传输距离最远可达 50 km, 最高接入速度达到 75 Mb/s。因此, 可以应用于广域接入、企业宽带接入、移动宽带接入, 以及数据回传等几乎所有的宽带接入场景。
- ▶ 系统容量大, 不存在“最后一公里”的瓶颈限制——WiMAX 作为一种宽带无线接入技术, 它可以将 WiFi 热点连接到互联网, 也可作为 xDSL 等有线接入方式的无线扩展。WiMAX 可为 50 km 区域内的用户提供接入服务, 用户只要与基站建立宽带连接即可享受服务, 因而其系统容量大。
- ▶ 提供广泛的多媒体通信服务——由于 WiMAX 具有很好的可扩展性和安全性, 从而可以提供面向连接的、具有完善 QoS 保障的电信级多媒体通信服务。
- ▶ 安全性高——WiMAX 空中接口专门在 MAC 层上增加了安全子层, 不仅可以避免非法用户接入, 保证合法用户顺利接入, 而且还提供了加密功能 (如 EAP SIM 认证), 保护用户隐私。
- ▶ 互操作性好——运营商在建设网络时, 能够从多个设备制造商处购买 WiMAX 设备, 而不必担心兼容性问题。

当然, WiMAX 也还存在许多问题需要解决, 如: 成本问题, 相对于有线产品, WiMAX 成本较高, 不利于普及; 技术标准和频率问题, 许多国家的频率资源紧缺, 目前都还没有分配出频带给 WiMAX 技术使用, 频率的分配直接影响该系统的容量和规模; 与现有网络的相互融合问题, IEEE 802.16 标准只是规定了空中接口, 而对于业务、用户认证等还没有一个统一的规范。

总之, 从技术层面讲, WiMAX 适用于城域网建设的“最后一公里”无线接入。WiMAX 技术具传输距离远、数据速率高等特点, 配合其他技术 (比如 VoIP、WiFi 等) 可提供数据、图像和语音等多种较高质量的服务业务。

练习

1. IEEE 802.16 工作组制定了哪些标准, 各标准具有哪些主要特点?
2. 成立 WiMAX 论坛的目的是什么, 有哪几个工作组?
3. WiMAX 系统包括哪些关键技术?

补充练习

利用 Web 查阅 WiMAX 技术的最新发展, 研究国内外无线城域网目前的发展状况。

第二节 WiMAX体系结构

宽带无线接入技术自 20 世纪 90 年代起就获得了迅猛发展。IEEE 在 1999 年成立了 IEEE 802.16 工作组来研究和制定宽带无线接入技术规范,意在建立一个全球统一的宽带无线接入标准。其后,为使这一标准获得广泛应用,促进基于 IEEE 802.16 标准的宽带无线网络的部署,并确保宽带无线设备之间的互通性和兼容性,WiMAX 论坛研究了 WiMAX 网络体系结构,包括 WiMAX 网络参考模型、WiMAX 网络实体、WiMAX 网络接口等。

学习目标

- ▶ 了解 WiMAX 网络组成;
- ▶ 掌握 WiMAX 网络的体系结构、参考模型和接口;
- ▶ 了解 WiMAX 支持的网络拓扑结构。

关键知识点

- ▶ WiMAX 网络参考模型是宽带城域网的基础。

WiMAX网络组成

WiMAX 是基于 IEEE 802.16 标准的无线城域网技术,可以作为无线城域网中的“最后一公里”的可靠载体,为无法获得宽带有线基础设施的用户提供无线宽带接入服务。

WiMAX 网络的组成如图 3.1 所示,大致可分为 WiMAX 用户终端、WiMAX 接入网和核心网。现在所说的 WiMAX 系统只包括 WiMAX 接入网,不包括核心网和用户终端。

核心网

WiMAX 连接的核心网通常为传统交换网或因特网。WiMAX 系统提供核心网络与基站(BS)间的连接接口,解决用户的认证、漫游等功能以及作为与其他网络之间的接口。通过与其他网络共用核心网,可节省传统蜂窝网络的复杂网络规划,实现 WiMAX 系统的快速配置。

WiMAX 接入网

WiMAX 接入网包含基站(BS)、用户站(SS)、中继站(RS)和网管系统,提供用户终端设备(TE)的接入,支持无线资源管理能力,同时还可能包括认证和业务授权服务器。

- ▶ 基站(BS)——直接连接到服务提供商的核心网络,该网络再连接到因特网。BS 通过无线空中接口与 SS 通信。SS、BS 与核心网之间的连接,通常采用扇形/定向条件或全向通信,能够提供灵活的子信道部署与配置功能。

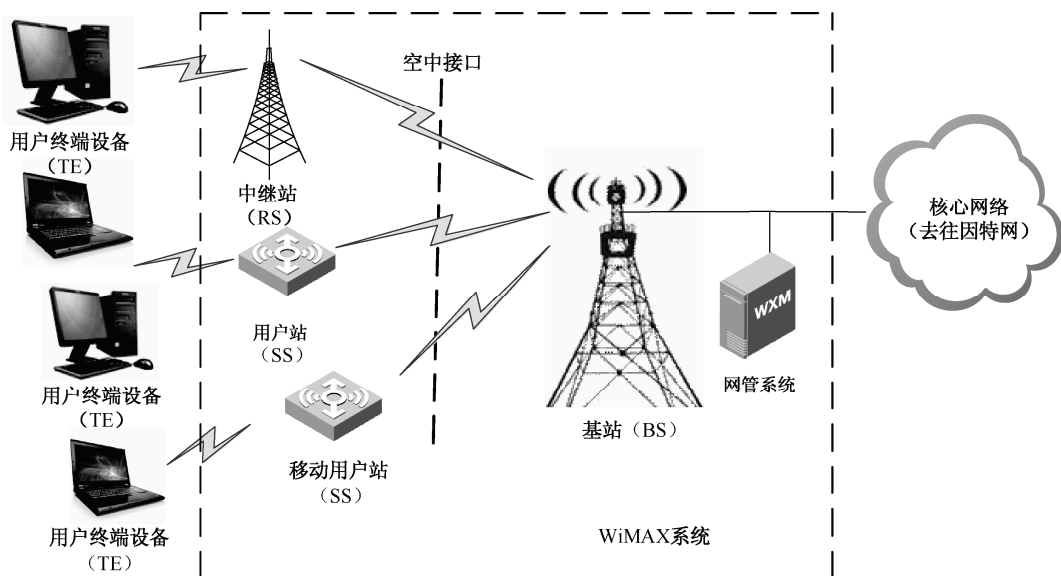


图 3.1 WiMAX 网络的组成

- ▶ 用户站 (SS) —— 属于基站的一种，提供 BS 与用户终端设备 (TE) 之间的中继连接，通常采用固定天线，常安装在屋顶上。BS 与 SS 之间采用动态自适应信号调制方式。在 WiMAX 网络中并存着两种 SS：一是保持在一个固定位置的用户站，如家庭宽带接入因特网；二是可以在移动中接受服务的移动用户站，如一辆配备了 WiMAX 装置的汽车。
- ▶ 中继站 (RS) —— 在点对多点通信结构中，RS 通常用于提高基站的覆盖能力，也就是说充当一个基站和若干个用户站（或用户终端设备）间的信息中继。RS 面向用户侧的下行频率可以与其面向基站的上行频率相同，当然也可以采用不同的频率。
- ▶ 网管系统——用于监视和控制网内所有的基站和用户站，提供查询、状态监控、软件下载、系统参数配置等功能。

WiMAX 用户终端

WiMAX 系统定义了用户终端与用户站之间的连接接口，提供用户终端设备的接入。但用户终端本身并不属于 WiMAX 系统。WiMAX 终端包括固定、便携和移动三种类型，分别对应 WiMAX 的应用模式。

WiMAX网络参考模型

WiMAX 网络参考模型给出了 WiMAX 网络中通信实体以及相互之间的交互关系。根据是否支持终端漫游，端到端网络参考模型可分为固定模式和漫游模式，分别如图 3.2 和图 3.3 所

示。在所给出的参考模型中,包括移动站(MSS)、接入网络(ASN)和连接服务网络(CSN)和应用服务提供商(ASP)网络实体,以及相互之间的接口。与图 3.2 相比,图 3.3 主要增加了 CSN 之间的 R5 参考点。注意, WiMAX NWG 规范没定义 CSN 和 ASP 之间的接口。

图 3.2 和图 3.3 所示的网络参考模型,是根据业务需求和技术特点抽象出来的,它们构成了 WiMAX 体系框架。在该参考模型中,结点代表实体单元之间的接口,即通信协议标准制定的对象。对于每一个参考结点,从数据、控制和管理三个平面以及 OSI 参考模型来确定通信协议的内容。标准化组织的主要工作就是定义这些接口协议,以标准的形式确定下来,实现系统的互连互通和互操作。

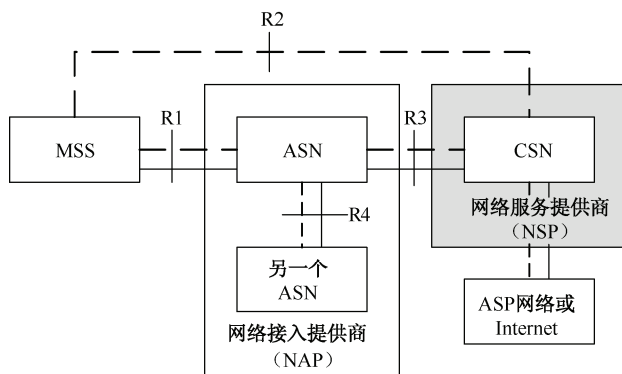


图 3.2 固定模式端到端参考模型

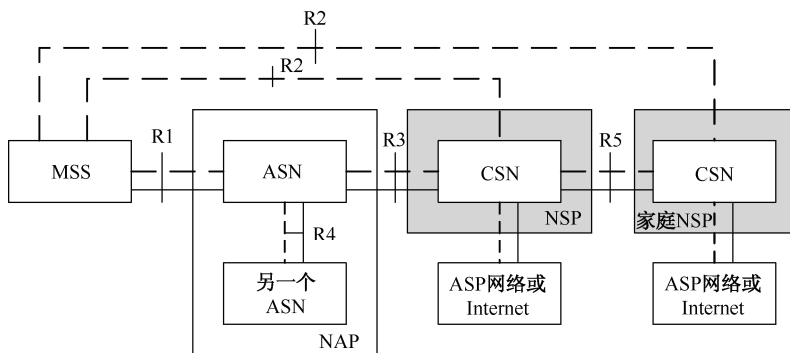


图 3.3 漫游模式端到端参考模型

WiMAX网络实体

接入网络

接入网络(ASN)由 BS 和接入网关(ASN GW)组成,如图 3.4 所示,可以连接到多个

CSN, 为不同 NSP 的 CSN 提供无线接入服务。其中, BS 用于处理 IEEE 802.16 空中接口, 包括 BS 和 SS 两种; ASN GW 主要实现到 CSN 的接口功能和 ASN 的管理。

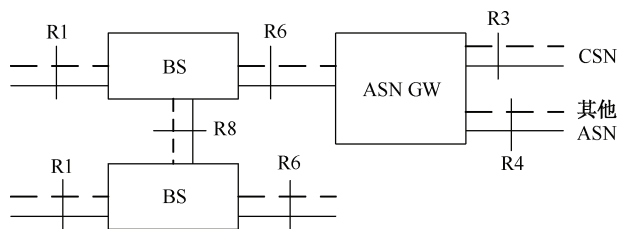


图 3.4 ASN 参考模型

ASN 管理 IEEE 802.16 空中接口, 为 WiMAX 用户提供无线接入, 其主要功能为: 发现网络; 在 BS 和 MSS 之间建立两层连接, 协助高层与 MSS 建立三层连接; ASN 内寻呼和移动性管理; ASN 和 CSN 之间的隧道建立和管理; 无线资源管理; 存储临时用户信息表。

连接服务网络

连接服务网络 (CSN) 可以由路由器、认证和业务授权服务器 ASA (ASA 服务器实际上就是人们常说的 AAA 服务器, 提供认证、授权和计费等功能)、用户数据库、因特网网关等设备组成; CSN 可作为全新的 WiMAX 系统的一个新建网络实体, 也可利用部分现有的网络设备实现 CSN 功能。CSN 为 WiMAX 用户提供 IP 连接, 其主要功能为: 因特网 (Internet) 接入, 为用户会话提供连接, 给终端分配 IP 地址; AAA 代理或者服务器, 用户计费以及结算; 基于用户系统参数的 QoS 及许可控制; ASN 之间的移动性管理, ASN 和 CSN 之间的隧道建立和管理; WiMAX 服务, 如基于位置的服务、多播服务等。

WiMAX 网络接口

IEEE 802.16 的工作主要是围绕网络空中接口展开的。WiMAX 网络空中接口如图 3.5 所示, 包括 R1~R8 接口 (R7 在图中未标注), 其中接口 R1~R5 是网络工作组已确定了在 Release 1 规范中定义的空中接口, 接口 R6~R8 为后续版本中考虑的空中接口。具体定义如下:

- ▶ R1——MSS/SS 与 ASN 之间的接口, 由 802.16d 和 802.16e 协议定义, 包括空中接口的 MAC 层、物理层, 以及相关管理面的功能。
- ▶ R2——MSS/SS 与 CSN 之间的逻辑接口, 包括认证、业务授权以及 IP 主机配置等服务。此外, 还可能包括一些移动性管理。
- ▶ R3——ASN 与 CSN 之间的互操作接口, 包括数据面和控制面。数据面主要是 CSN 和 ASN 之间的隧道管理, 它可以用以支持 ASN 和 CSN 之间不同 QoS 要求的业务流。控制面包括隧道管理、AAA、policy 和 QoS 管理等功能。
- ▶ R4——ASN GW 之间的接口, 用于处理 ASN GW 之间与移动性相关的控制和承载平

面协议，具体功能待定义。

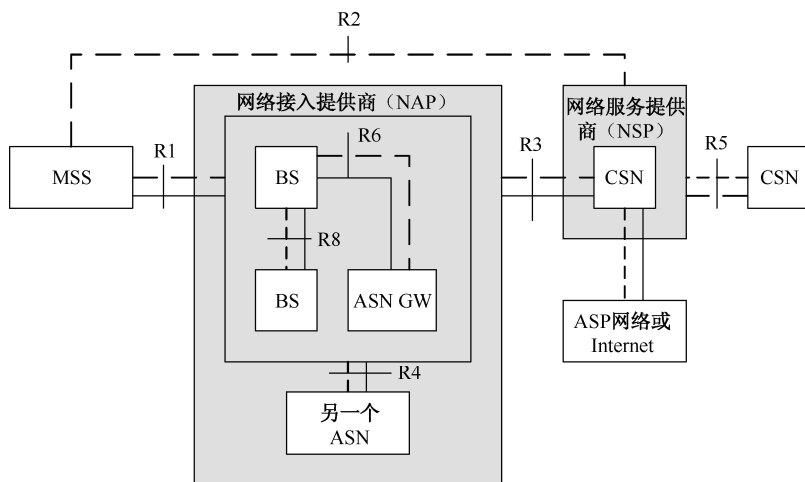


图 3.5 WiMAX 网络空中接口

- ▶ R5——访问 CSN 和归属 CSN 之间互操作的一系列控制和承载平面协议。
- ▶ R6——ASN GW 与 BS 之间的互操作接口，属于 ASN 内的接口，由一系列控制和承载平面协议构成，主要包括：数据面，即 ASN GW 与 BS 之间的 IP 隧道，以区别不同 QoS 要求的业务流；控制面，包括隧道管理、AAA、Bandwidth Brokering and Policy coordination、RRM 等功能。
- ▶ R7——属于 ASN GW 的内部接口（在图 3.5 中没有标注），用以协调 ASN GW 内部的 Decision Point 和 Enforcement Point 两部分，涉及 AAA 服务器、Policy coordination、位置管理等。
- ▶ R8——BS 之间的接口，用以提供快速和无缝切换功能，由一系列控制和承载平面协议组成。

IEEE 802.16 协议栈参考模型

WiMAX/IEEE 802.16 协议栈参考模型如图 3.6 所示。由图 3.6 可知，WiMAX/IEEE 802.16 系统包括数据/控制和管理两个平面。系统在数据/控制平面实现的功能主要是保证数据的正确传输。因此，数据/控制平面除了定义了必要的传输功能之外，还需要定义一些控制机制来保障传输的顺利进行。而管理平面中定义的管理实体，分别与数据/控制平面的功能实体相对应。通过与数据/控制平面中实体的交互，管理实体可以协助外部的网络管理系统完成有关的管理功能。在此，主要介绍 WiMAX/IEEE 802.16 系统的数据/控制平面。

WiMAX/IEEE 802.16 标准为无线空中接口分别定义了物理层和介质访问控制 (MAC) 层。物理层由传输汇聚子层 (TCL) 和物理介质依赖子层 (PMD) 组成，通常说的物理层主

要是指 PMD。物理层定义了两种双工方式：TDD 和 FDD。这两种方式都使用突发数据传输格式，这种传输机制支持自适应的突发业务数据，传输参数（调制方式、编码方式、发射功率等）可以动态调整，但是需要 MAC 层协助完成。

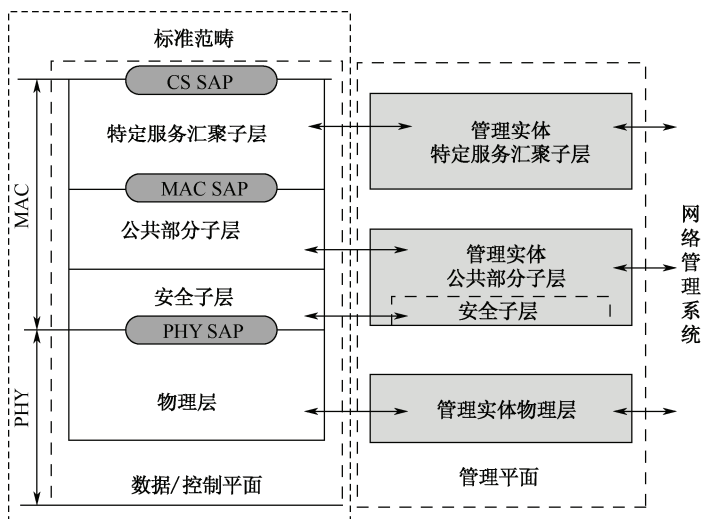


图 3.6 WiMAX/IEEE 802.16 协议栈参考模型

介质访问控制（MAC）层能够支持多种物理层规范，以适合各种应用环境。MAC 层由特定服务汇聚子层（CS）、MAC 公共部分分子层（CPS）和安全子层（可选）3 部分组成。

特定服务汇聚子层

特定服务汇聚子层（CS）的功能是为物理层提供接口。协议定义了不同的汇聚子层，以便与不同的上层进行无缝连接。尽管 IEEE 802.16 标准还定义了与以太网和 ATM 协议之间的映射，最重要的选择还是 IP。由于 IP 是无连接的，而 IEEE 802.16 MAC 子层是面向连接的，因此两层之间必须在地址和连接之间进行映射。

因此，CS 子层的主要功能是负责将其业务接入点（SAP）收到的外部网络数据转换和映射到 MAC 业务数据单元（SDU），并传递到 MAC 层业务接入点。具体包括：对外部网络数据 SDU 执行分类，并映射到适当的 MAC 业务流和连接标识符（CID）上，甚至可能包括净荷头抑制（PHS）等。IEEE 802.16 协议提供多个 CS 规范作为与外部各种协议的接口。

公共部分分子层

公共部分分子层（CPS）是 MAC 层的主体。在 CPS 中实现了 IEEE 802.16 与组网相关的绝大部分功能，包括：寻址与连接、帧格式定义、PDU 的构造与发送、自动重发请求（ARQ）机制、调度服务、带宽分配与请求机制、物理层支持、竞争解决方案、入网与初始化、校准（测距）、信道描述符的更新、多播连接的建立、QoS 等。IEEE 802.16 中与组网相关的核心概念和

操作都在此层定义。

IEEE 802.16 定义的 MAC 层是面向连接的，然而在基于 IP 的网络中要提供面向连接的服务，就必须通过一系列的 QoS 机制来保证基本的性能要求。因此，QoS 保证机制成为 IEEE 802.16 标准的核心机制，用于满足多媒体通信服务要求。WiMAX 系统的 QoS 机制包含两部分内容：一是关于业务流的管理，它提供了一种实现上行、下行 QoS 管理的机制，这也是 MAC 层的核心功能，包括 QoS 参数集、业务流定义、分类符和动态业务管理等，在 IEEE 802.16 中进行了详细规定；二是相应的 QoS 保证机制，包括调度算法、缓冲池管理和流量控制等，在协议中对这些算法并没有进行定义和阐述。根据不同的 QoS 要求，为了更好地控制上行数据的带宽分配，IEEE 802.16 定义了以下几种不同类型的上行带宽调度服务模式：

- ▶ 主动授权业务（UGS）——用于支持固定速率的实时业务连接，不使用任何类型的竞争请求机会，并禁止捎带请求。应用方式有 T1/E1 和没有进行压缩的 IP 语音业务。
- ▶ 实时轮询业务（rtPS）——周期性地为终端分配可变长度的上行带宽，用于支持可变速率实时业务，BS 为其提供周期性的单播轮询机会，并禁止使用其他竞争请求机会，但是可以捎带请求。应用方式有 MPEG 视频业务。
- ▶ 非实时轮询业务（nrtPS）——不定期地为终端分配可变长度的上行带宽。BS 为其提供经常性的单播轮询机会（可以是周期性或非周期性的），并允许使用竞争和捎带请求。应用方式有保证最小速率要求的因特网接入。
- ▶ 尽力而为业务（BE）——尽可能地利用空中资源传送数据，但是不会对高优先级的连接造成影响。允许使用任何类型的请求机会和捎带请求，应用方式有 E-mail 和短信等。

安全子层

WiMAX/IEEE 802.16 的 MAC 层还包含了一个独立的安全子层，提供认证、密钥交换、加解密处理等服务。安全子层主要由数据包的加密打包协议和密钥管理协议两部分组成。其中，数据包的加密打包协议定义了一系列的认证和加密算法，并将这些算法运用到协议数据单元（PDU）净荷部分的规则；密钥管理协议主要用来提供 BS 与 SS 之间的安全密钥分配机制。

WiMAX支持的网络拓扑结构

WiMAX/IEEE 802.16 支持双向点到多点（Two Way PMP）网络和网格（Mesh）网络两种类型的拓扑结构，如图 3.7 所示。PMP 和 Mesh 结构都是共享无线信道的网络，需要有效的介质访问控制机制，尤其是 WiMAX/IEEE 802.16 系统承诺了对 QoS 的支持。

点到多点（PMP）网络拓扑

对于 PMP 方式，WiMAX/IEEE 802.16 系统中指的是一个基站（BS）同时服务于多个 SS。BS 协调、中继所有的通信，用户站（SS）由 BS 控制。在 SS 向其他 SS 传输数据前，SS 首先要与 BS 进行通信。这种拓扑结构类似于蜂窝网络。

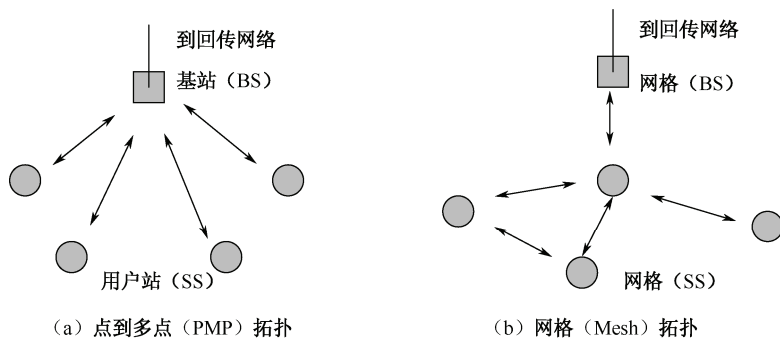


图 3.7 PMP 和 Mesh 网络拓扑结构

在通常情况下, BS 使用划分扇区的天线, 同时服务于多个独立的扇区, 扩大系统容量。位于同一个频率扇区的所有 SS 接收相同的信息。如果系统工作在 TDD 模式, 有专门的 MAC 层管理消息 Downlink Map 指明下行链路子帧中每一部分数据所属的 CID。每个 SS 在接收数据时, 首先检查协议数据单元 (PDU) 的 CID。这样, SS 只接收来自 BS 所有数据中发往自己的那一部分。另一方面, 在上行方向, 所有的 SS 以按需的方式共享无线链路。如果 SS 有数据要发送, 将首先发送带宽请求消息。根据 SS 提供的 QoS 参数, BS 在可用带宽允许的情况下, 将根据所使用的服务类型, 为 SS 分配一定的带宽。例如, 某 SS 的一个连接对应的是 UGS 服务, BS 将会为该 SS 分配一个固定带宽。SS 可能被 BS 授权持续进行发送, 或者在 BS 收到其带宽请求并允许后才能发送, 然后通过上行链路映射 (Uplink Map) 通知 SS 已授权的可用带宽。消息发送机制可以是单播、多播或者广播。

网格 (Mesh) 网络拓扑

在网格 (Mesh) 网络拓扑中, 也存在 BS 和 SS, 但 BS 和 SS 是相对而言的, 因为 Mesh 网络的最大特点是数据的传输可以发生在任意两个结点之间。一般, 定义提供骨干接入服务的结点为 Mesh BS, 其他结点则都是 Mesh 网络中的 SS。Mesh 网络中可以有若干个 BS, 但没有单独的上行和下行链路。也就是说, Mesh 网络中的上行和下行链路是相对于 Mesh BS 定义的。例如, 若把从 Mesh BS 发往 SS 的数据看作在下行链路上进行传输, 那么, 反方向的链路就是 Mesh 网络中的上行链路。

对于 WiMAX/IEEE802.16 Mesh 模式的调度方式, 可以分为集中式调度与分布式调度。集中式调度模式类似于 PMP, 该模式中的 Mesh BS 系统是 Mesh 网络内与网络外面的回程服务有直接连接的系统。Mesh 的集中式调度通过 Mesh BS 来协调各 Mesh SS 的传输, Mesh SS 想要发送数据必须等待 Mesh BS 的许可。在 Mesh 模式的分布式调度中, 没有充当 BS 的结点, 各个结点是对等的。用户站 (SS) 之间可构成小规模 1 至 2 跳的多点到多点的无线连接, 没有明确、独立的上下行链路子帧, 每个站都能够与网络中的其他站建立直接的通信链路。

在 Mesh 网络中还定义了邻居结点、邻域和扩展邻域。与某一结点能够直接通信的所有结点均称为该结点的邻居结点, 邻居结点到该结点的距离仅有 1 跳。所有邻居结点的集合则称为

该结点的邻域。扩展邻域则在邻域的概念上再进行一次扩展，覆盖所有邻居结点的邻域。以上这 3 个定义对于 Mesh 网络中的 BS 和 SS 来说是相同的。

PMP 网络与 Mesh 网络的最大区别是：在 PMP 网络中，数据交换只发生在 BS 和 SS 之间；在 Mesh 网络中，数据的传输可能会经过其他的 SS，并且数据交换可以直接在两个 SS 之间进行。

练习

1. 简述 WiMAX 网络体系结构及各个部分的功能。
2. WiMAX 网络的参考模型有哪几种模式？
3. WiMAX 接入网由哪几个部分组成？
4. 简述 WiMAX 网络中各个接口的功能。
5. WiMAX 协议栈由哪几个部分组成，各个部分主要有哪些功能？

补充练习

1. 利用 Web，研究 WiMAX 支持的网络拓扑结构。
2. 研究你所在地区有关 WiMAX 网络的现状，总结 WiMAX 网络的组成结构。

第三节 WiMAX 物理层

在 IEEE 802.16 工作组制定的三层体系结构中，物理层是最低层，该层协议主要包括频率带宽、调制方式、纠错技术以及发射机同步、数据传输速率和时分多址接入等方面的内容。WiMAX 网络支持的物理层技术有：频段、双工复用方式、载波带宽、OFDM、OFDMA、多天线技术及自适应调制等，内容颇为复杂。本节主要简单介绍时分双工（TDD）和频分双工（FDD）模式的概念，以及 WiMAX 物理层的关键技术，包括移动 WiMAX 技术。

学习目标

- ▶ 了解 WiMAX 物理层的关键技术；
- ▶ 了解传输复用技术所采用的时分双工（TDD）和频分双工（FDD）模式；
- ▶ 掌握 IEEE 802.16a 下行、上行链路帧结构。

关键知识点

- ▶ WiMAX/IEEE 802.16 网络的下行、上行链路子帧结构。

WiMAX物理层关键技术

频段

IEEE 802.16d 的工作频率为 2~11 GHz；为了支持移动性，IEEE 802.16e 的工作频率定义为 2~66 GHz。目前，WiMAX 正在各个国家积极寻求较低的频段，根据各个国家频率规划的不同，WiMAX 已经选定首先对工作于 2.5 GHz 授权频段、3.5 GHz 授权频段及 5.8 GHz 非授权频段的 IEEE 802.16 设备进行一致性和互操作性测试。

双工复用方式

WiMAX 系统可以支持 TDD（时分双工）和 FDD（频分双工）两种无线双工复用技术，在 IEEE 802.16 中，还规定了用户站可以采用半双工 FDD（H-FDD）方式，以便降低对终端收发信机的要求，进而降低终端成本。

载波带宽

IEEE 802.16 并未规定具体的载波带宽，系统可以采用 1.25~20 GHz 之间的带宽，考虑各个国家已有固定无线接入的载波带宽划分，IEEE 802.16 规定了几个系列：1.25 MHz 的倍数、1.75 MHz 的倍数。1.25 MHz 系列包括：1.25 MHz，2.5 MHz，10 MHz，20 MHz 等。1.75 MHz 系列包括：1.75 MHz，3.5 MHz，7 MHz，14 MHz 等。对于 10~66 GHz 的固定无线接入系统，还可以采用 28 MHz 载波带宽，提供更高的接入速率。

OFDM 和 OFDMA

WiMAX 系统根据频段的不同分别有不同的物理层支持技术：单载波（SC）、OFDM（256 点）、OFDMA（2048 点）。其中，10~66 GHz 固定无线接入系统主要采用单载波调制技术；而对于 2~11 GHz 频段的系统，将主要采用 OFDM 和 OFDMA 技术。由于 OFDM、OFDMA 具有较高的频谱利用率，且在抵抗多径效应、频率选择性衰落或窄带干扰上具有明显的优势，因此 OFDM 和 OFDMA 是 WiMAX 物理层的核心技术。

多天线技术

为了增加基站的覆盖范围，提高系统的可靠性，IEEE 802.16d 支持多天线技术，比如 Alamouti STC、自适应天线系统（AAS）和 MIMO 系统。Alamouti STC 和 MIMO 属于同一类技术。MIMO 在发送端不需要掌握信道信息，而 AAS 在发送端需要掌握信道信息。Alamouti STC 使用多副天线发送，单副天线接收（MISO），应该也属于 MIMO 技术。MIMO 技术就是在 BS 和 SS 端使用多副天线进行发送和接收，能够大幅度地增加信道的容量和覆盖范围，提高频谱的利用率。

自适应调制

IEEE 802.16 支持 BPSK、QPSK、16-QAM 和 64-QAM 多种调制方式。在信道纠错编码方面, IEEE 802.16 采用了截短的 RS 编码和卷积码级联的纠错码, 并且还支持分组 Turbo 码、卷积 Turbo 码。IEEE 802.16 可以根据不同的调制方式和纠错分组组合成多种发送方案, 系统可以根据信道状况的好坏及传输需求, 选择一个合适的传输方案。例如, 当信道状态差时, 可以选择 QPSK 低阶的调制方式; 当信道状况好时, 可以选择 64-QAM 高阶调制方式。自适应调制给无线传输系统带来了很好的抗衰落性能。

TDD/FDD

只要是双向通信, 就需要一定的双工工作模式。当前蜂窝无线电通信领域使用的双工模式主要是时分双工 (TDD) 和频分双工 (FDD)。为了更好地利用带宽, IEEE 802.16 物理层也定义了 TDD 和 FDD 两种双工模式。其具体特征是:

- ▶ TDD 的发射和接收信号是在同一频率信道的不同时间隙中进行的, 彼此之间采用一定的保证时间予以分离。它不需要分配对称频段的频率, 并可在每信道内灵活控制、改变发送和接收时段的长短比例, 在进行不对称的数据传输时, 可充分利用有限的无线电频谱资源。
- ▶ FDD 采用两个对称的频率信道来分别发射和接收信号, 发射和接收信道之间存在一定的频段保护间隔。

在 TDD 模式下, 上行链路和下行链路共用一个频率, 利用不同的时刻分别进行上行和下行信号传输。在 FDD 模式下, 上行链路和下行链路在不同的频率上传输信号, 因而可以同时进行双向传输。这两种方式都使用突发 (Burst) 数据传输机制, 这种传输机制支持自适应的突发业务数据, 在每一帧中, BS 和各个 SS 可以根据需要灵活改变突发的类型, 从而选取适当的发射参数, 如调制方式、编码类型、发射功率等, 但需要 MAC 协助完成。

根据 FDD、TDD 两种工作模式的特点, 在移动通信网络中, 它们各自有着不同的适用范围: 采用 FDD 模式工作的系统是连续控制的系统, 适应于大区制的国家和国际间覆盖漫游, 适合于对称业务, 如话音、交互式适时数据传输等。采用 TDD 模式工作的系统是时间分隔控制的系统, 适应于城市及近郊等高密度地区的局部覆盖和对称及不对称数据业务。特别是它的不对称传输数据的功能, 尤其适合接入因特网; 因为, 在因特网的数据传输过程中, 往往要求下行速率远远大于上行速率。

固定 WiMAX 物理层

最初, IEEE 工作组关注的频率范围为 10~66 GHz, 这主要是由全球可用的频谱资源所决定的。根据该频段的信号特性, 只能采用视距 (LOS) 传输技术。由于这个原因, IEEE 选择

了采用单载波调制解调方式 (WirelessMAN SC)。视距传输协议需要在房屋或办公室的屋顶架设固定天线, 才可以进行大容量的数据传输, 显然基础设施建设费用较高。为了满足小容量家用业务的需求, IEEE 工作组将注意力转移到 2~11 GHz 频段, 制定了 11 GHz 以下频段的 IEEE 802.16a 物理层标准, 在该频段的无线电波可以绕射过房屋和树木等障碍, 实现了低成本和非视距 (NLOS) 传输。

目前, WiMAX 网络支持的物理层技术比较多, 主要是以下 5 种:

- ▶ WirelessMAN-SC;
- ▶ WirelessMAN-SCa;
- ▶ WirelessMAN-OFDM;
- ▶ WirelessMAN-OFDMA;
- ▶ 基于 OFDM/OFDMA 的物理层。

在 WiMAX/IEEE802.16 系统中, 物理层规范以帧结构方式工作, 每种帧都包含上行链路子帧和下行链路子帧两个部分。其中, 下行链路子帧的开始部分所包含的信息主要用于帧的同步和控制。在 TDD 模式, 下行链路子帧在上行链路子帧的前面; 在 FDD 模式下, 上行链路子帧的传输和下行链路子帧的发送是同时进行的。每一个 SS 都会尝试接收完整的下行链路子帧, 除非 SS 不支持下行链路子帧中的突发描述, 或者该突发描述的健壮性低于 SS 当前所使用的下行突发描述。如果 SS 工作在半双工方式, 则不能在接收下行数据的同时发送上行数据。

限于篇幅, 在此仅简单介绍与 IEEE 802.16 与 IEEE 802.16a 相关的固定 WiMAX 物理层。

10~66 GHz 频谱的物理层

在 10~66 GHz 这样高的频率范围内, 对于所有实际应用, 射频传播要求在发射机和接收机之间存在视距传播。对于这样的限制条件, 没有必要考虑使用复杂技术 (如 OFDM 技术) 来克服发生在没有视距环境下的多径影响。因此, IEEE 工作组为这些接口选用了简单的单载波调制 (SC) 技术, 其技术参数如表 3.3 所示。

表 3.3 IEEE 802.16 标准技术参数

参数名称	IEEE 802.16 标准技术参数
射频带宽	10~66 GHz
调制方式	单载波调制 (SC) (QPSK、16-QAM 和 64-QAM)
数据速率	最大速率为 134 Mb/s
信道化	20 MHz, 25 MHz 或 28 MHz 信道带宽
双工方式	TDD 和 FDD, 可用 TDMA 的半双工
网络拓扑	点到多点
带宽分配	每个用户站授予 (GPSS)

在下行传输 (从基站到用户站) 时, 采用时分复用 (TDM), 每个时隙被分配给单独的用

户,以便为对延迟敏感的服务保证带宽。在上行链路方向(从用户站到基站)采用时分多址接入(TDMA)。

在下行链路方向,用于定义可用带宽的最小单位是物理时隙(PS)。上行链路可用带宽的最小单位是微时隙。一个微时隙的长度是 2^m 个PS。其中, m 的取值为 $0\sim 7$,共8个值。实际上,每个帧所包含PS的个数是符号速率的函数。因此,符号速率的选择依据是使得每个帧内PS的个数为整数。

下行链路子帧 WiMAX系统可部署为TDD、FDD或半双工FDD。TDD模式下行链路子帧结构如图3.8所示。

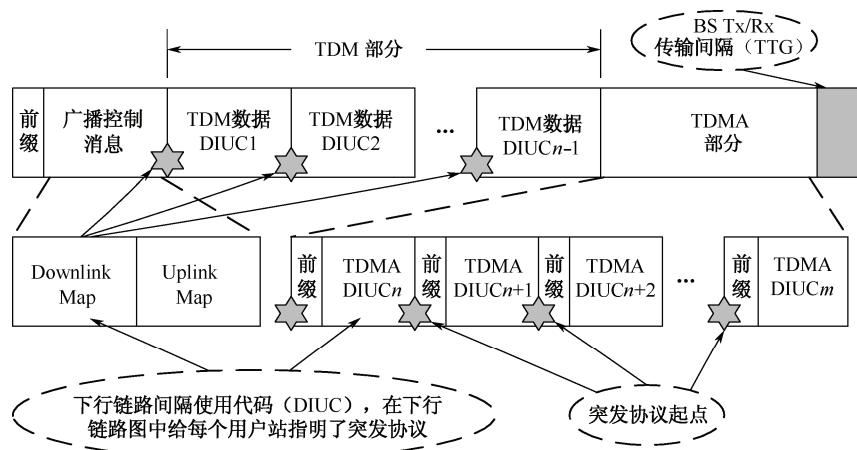


图 3.8 IEEE 802.16 下行链路子帧结构

下行链路子帧以一个帧前缀(FSP)开始,主要是用于物理层的同步与均衡信号处理。然后是帧的广播控制消息,包括Downlink Map和Uplink Map消息。Downlink Map消息作用于当前的帧,主要指示下行链路的接入信息;Uplink Map消息主要指示上行链路下一帧的接入分配,作用于下一个上行链路子帧。接下来的TDM部分是承载的数据,封装成一个一个的突发。BS根据从每一个SS得到的信号质量情况,为SS分配下行链路数据突发的大小;每个突发使用的突发描述并不相同,且按照健壮性降序发送。下行链路子帧主要通过TDM组成,每个TDM包含特定SS的数据,通过复用的方式组成一个统一的数据流,并传输给所有的SS。每个SS都需要接收下行链路子帧并解码,搜索MAC报头,了解后续的下行链路子帧中哪些部分的数据是发送给本SS的。

对于FDD模式,TDM部分之后可能会跟着TDMA部分,采用TDMA部分主要是为了向采用半双工机制的SS传输数据。为了指示TDMA,在TDMA部分中会在每个数据突发之前附加一个前缀序列。

最后的TTG用于分隔开TDD模式中的下行链路子帧和上行链路子帧。

上行链路子帧 SS用来向BS发送数据的上行链路子帧的结构如图3.9所示。上行链路子

帧包含的一个重要部分是用于 SS 接入初始化和带宽请求的连接分配信息。上行链路子帧最前面的时隙用于初始化测距间隙和请求间隙,在这个时隙内 SS 的上行接入会产生冲突。当发生冲突时,SS 会在退避窗口内随机选择一个时间点进行重传,以解决冲突问题。BS 通过 Uplink Map 消息控制上行信道带宽的分配,并确定在哪一个微时隙中发生冲突,而其他时隙用于 SS 传输数据突发。每个 SS 会根据 BS 的 Uplink Map 消息选择发送时隙,进行上行数据的传输。

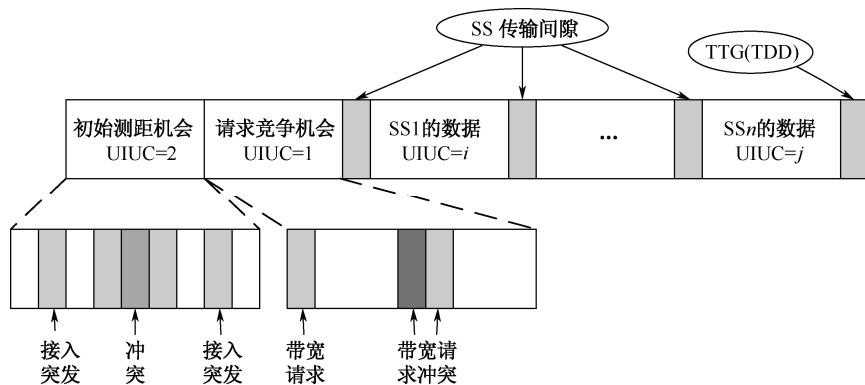


图 3.9 上行链路子帧的结构

在图 3.9 中, SS 发送的上行链路子帧包括 3 种类型的突发数据:

- ▶ 第一类: 用于竞争预留给初始化测距的传输机会;
- ▶ 第二类: 突发被 SS 用于竞争预留给响应多播和广播轮询的请求间隔;
- ▶ 第三类: 突发是纯粹的用户数据, 在 BS 通过数据授权信息元素分配给一个 SS 的传输间隔中发送。

在任何一帧中都可能包含以上 3 种突发, 而且各种突发的数量和在内帧的位置可以任意组合。当然, 具体的某一帧中关于数量以及位置的相关信息, 都会由 BS 的上行调度器经适当的处理之后, 通过下行链路子帧中帧控制信息部分的 Uplink Map 消息给出。

通常, 分配给初始化测距和请求的竞争传输机会的带宽都会集中在一起。它们所使用的突发描述也总是固定的: 初始化测距间隙使用的 UIUC 为 2, 请求间隙使用 UIUC 为 1 的突发描述。剩余的传输时隙则被 SS 组织在一起, 用于用户数据的发送。在分配给 SS 的带宽中, 该 SS 在发送数据时, 也必须使用 BS 所指定的突发描述。用户站传输间隙 (SS TG) 是上行链路子帧中用来分隔不同 SS 之间数据的, 以保证不同 SS 的数据包之间没有干扰。这一间隙允许前一个 SS 数据突发有一定偏移。通过后面的前缀, BS 能够始终与下一个 SS 保持同步。至于前缀和间隙的长度, BS 都是采用广播方式来通知网络内的 SS。

在每一个上行突发的开始都有一个上行前缀。这个前缀的长度是 16 个或者 32 个符号。前缀中各符号的幅度取决于上行链路的功率调制规则。如果系统采取的是常数的峰值功率算法, 则前缀在发送时的星座点应该与所使用的调制算法最远处的星座点一致; 当系统采取的是常数的均值功率算法时, 则前缀应该与所采用的调制算法星座点的均值功率一致。

2~11 GHz 频谱的物理层

与高达 66 GHz 的极高频（EHF）的范围相比较，在 2~11 GHz 频谱范围内，不同的传播特性要求空中接口在非视距环境下能够适应大量多径传播的影响。在 IEEE 802.16a 标准中定义了 3 种可选的物理层标准，该标准涵盖了授权和未授权的频谱：

- ▶ WirelessMAN-SCa——采用单载波调制解调方式，提供与 10~66 GHz 单载波空中接口的互操作；
- ▶ WirelessMAN-OFDM——采用 256 载波 OFDM 调制方式和 TDMA 多址接入方式，这个接口对非授权频带来说是强制性的；
- ▶ WirelessMAN-OFDMA——采用 2048 载波 OFDMA 调制方式和 TDMA 多址接入方式，用户接入的 OFDM 接口。

IEEE 802.16a 标准中大部分技术参数与更高频率标准是共用的，如表 3.4 所示。

表 3.4 IEEE 802.16a 标准技术参数

参数名称	IEEE 802.16a 标准技术参数
射频带宽	2~11 GHz
调制方式	单载波调制（SC），OFDM
数据速率	峰值速率可达 70 Mb/s
多址接入	OFDMA，TDMA
信道化	灵活的信道带宽，1.75~20 MHz
双工方式	TDD 和 FDD，可用 TDMA 的半双工
网络拓扑	点到多点和网格拓扑
带宽分配	每个用户站授予（GPSS）或每个连接授予（GPC）

另外，IEEE 802.16a 也支持高级天线系统。高级天线系统或智能天线通过抑制干扰来提高整体系统的增益，增强链路的健壮性。

移动WiMAX

2005 年 12 月，IEEE 批准了对 IEEE 802.16 标准的修正版——IEEE 802.16e，这成为 WiMAX 演进过程中又一个重要的里程碑，定名为 IEEE 802.16-2005。为支持便携式移动服务，IEEE 802.16e 在原有标准的基础上增加了必要的特点和属性，主要是增强了 IEEE 802.16 初始的 OFDMA 接口，这些特性如表 3.5 所列。

IEEE 802.16e 为了支持移动性，推荐其频率范围为 66GHz 以下。在 WiMAX 系统中，OFDM 技术为物理层技术，主要有 OFDM 物理层和 OFDMA 物理层两种应用方式。

IEEE 802.16e 的两个关键思想是固定的子载波间隔与带宽（可扩展的 OFDMA）无关，以及使用子信道化在覆盖范围和容量之间的折中。

表 3.5 IEEE 802.16e 主要特性

增强的特性	功 能 表 述
固定的子载波间隔	保持子载波间隔为固定值并独立于信道带宽，可以提高在移动传输中对抗多径衰落和多普勒频移的能力
改善的室内传输	使用较高功率的可用 OFDM 载波的子集，改善了室内接收效果
覆盖范围和链路容量间的灵活性	下行链路的子信道化允许在数据容量和覆盖范围之间折中
支持高级天线	支持高级多天线分集技术、自适应天线系统以及 MIMO 无线技术，提高了非视距覆盖范围和性能
改进的纠错机制	新的编码技术（如 Turbo 码和低密度校验码 LDPC）的使用，改善了移动和非视距性能
快速差错恢复	在移动环境中使用混合自动重传请求（HARR），改善了差错恢复性能

可扩展的 OFDMA

正交频分多址接入（OFDMA）是 OFDM（正交频分复用）调制的一种形式，它针对多用户通信进行了优化，尤其是蜂窝电话和其他移动设备。在 IEEE 802.16a 标准中，已指明 OFDM 接口具有从 1.5 MHz 到 20 MHz 的灵活的信道带宽。每个信道被分成 256 个子载波（OFDMA 256），因此，子载波间隔取决于信道带宽，在 6.8 MHz 到 78.1 MHz 之间变化。在移动通信中，根据 SNR 和 BER，变化的多普勒频移和多径产生的时延将导致性能下降，尤其是在子载波间隔很小的时候。相反，在信道带宽较宽时，使用更多的子载波可以提高信道容量。

通过使用 11.2 kHz 的固定子载波间隔和根据信道带宽改变子载波数目，从 1.25 MHz 的 128 个到 20 MHz 的 2048 个，可扩展的 OFDMA（S-OFDMA）解决了上述问题。这使得带宽较宽的信道达到了最大信道容量，并且保证了所有的信道带宽都能同等地容忍移动站产生的时延扩展。

S-OFDMA 与 OFDMA 256 并不兼容，因此，为了支持基于 S-OFDMA 的移动应用，必须更换无线城域网设备。

子信道化

子信道化是指使用 OFDM 可用子载波的一个子集，将可用的发送功率集中到较少的子载波上，从而使每个子载波能以较高的发射功率发送出去。这个额外的链路余量要么用来扩展链路的范围，允许室内移动设备克服传输损耗，要么用来降低发射设备的消耗功率。当然，这些优点是降低链路容量为代价的，因为只有子载波的一个子集用来携带数据，允许在吞吐量和移动性之间折中。

一般来说，可以采用多种方法给予信道分配子载波，但主要是使用相邻的或分布式的子载波。移动应用中使用分布式子载波的分配方法，主要是因为大范围的频率（频率分集）的使用能使链路受衰落的影响小，而快衰落又是移动应用的特征。

固定 WiMAX 也可以选择子信道化，其中使用子信道化的上行链路将吞吐量折中到覆盖范

围内,从而达到较大的覆盖范围,或者对于给定的 WiMAX 客户终端设备(CPE)的发射功率,提高对建筑物的穿透力。

练习

1. 列举 WiMAX 物理层的关键技术。
2. 简要分析时分双工(TDD)和频分双工(FDD)模式的异同。
3. 简述 OFDM 技术的优缺点。
4. 试画出并描述 IEEE 802.16 下行链路子帧的结构。
5. 简述移动 WiMAX 采用的 IEEE 标准。

补充练习

1. 利用 Web,研究 IEEE 802.16 的比特速率与信道带宽,了解不同调制方式可达到的数据速率。
2. 利用 Web,研究 IEEE 802.16a 的关键参数与频率之间的关系。
3. 利用 Web,研究移动 WiMAX 的最新进展及应用情况。

第四节 WiMAX MAC层

WiMAX MAC 层规范和大多数协议一样采用分层结构,包含有汇聚子层(CS)、公共部分子层(CPS)和安全子层 3 个子层。本节主要介绍 WiMAX MAC 层实现主要功能的关键技术,包括 MAC 协议数据单元(PDU)格式,以及 WiMAX 系统初始化过程。

学习目标

- ▶ 了解 WiMAX MAC 层实现主要功能的关键技术;
- ▶ 掌握 MAC 协议数据单元(PDU)格式。

关键知识点

- ▶ MAC 协议数据单元(PDU)是无线城域网数据传输的基本单元。

WiMAX MAC子层简介

WiMAX/IEEE 802.16 协议定义了介质访问控制(MAC)层和物理层(PHY)层的规范。如前所述,IEEE 802.16 MAC 层规范共分为三个子层,包括特定服务汇聚子层(CS)、公共部分子层(CPS)和安全子层(SS)。CS 子层负责和高层接口,汇聚上层的不同业务;CPS 子层

实现 MAC 功能，可分为数据平面和控制平面；安全子层负责 MAC 层认证和加密功能。WiMAX/IEEE 802.16 协议栈结构如图 3.10 所示。

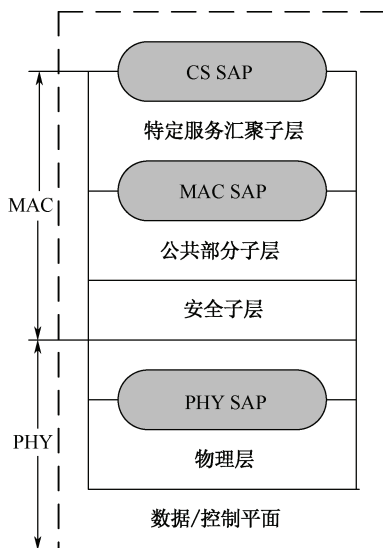


图 3.10 WiMAX/IEEE 802.16 协议栈结构

为了完成数据收发和系统维护功能，IEEE 802.16 MAC 层的功能可分为：SS 初始化和进入网络，物理层支持和信道信息管理，连接和业务流（SF）管理，无线资源管理（RRM），数据处理和重传等。然而，WiMAX/IEEE 802.16 MAC 层实现服务功能的关键技术体现在以下 3 个方面：

- ▶ 面向连接的 QoS 保证；
- ▶ 无线链路控制；
- ▶ 灵活的带宽分配。

面向连接的 QoS 保证

WiMAX/IEEE 802.16 的 MAC 层有效性的关键，在于它是面向连接的。每个服务映射到一个连接上，并使用 16 比特的连接标识符（CID）来唯一标识；每个连接都和以下具体的参数相联系：

- ▶ 带宽授权机制（连续的或按需的）；
- ▶ 相关的 QoS 参数；
- ▶ 路由和传输数据。

这是一种典型的单向连接，因此可以为上行和下行方向定义不同的 QoS 和其他传输参数。当一个新的用户站（SS）加入 WiMAX 网络时，最初打开三条连接以承载管理层面的消息，如表 3.6 所示。

表 3.6 IEEE 802.16 SS 管理连接

连 接	用 途
基本连接管理	短的、对时延敏感的 MAC 和射频链路控制（RLC）消息
主要连接管理	能容忍时延的消息，如认证、连接建立
次要连接管理	基于标准的管理消息，如 DHCP、SNMP、RIP

当具体的服务确定之后，需要给用户分配一些额外的连接，通常，上行链路和下行链路以成对的形式分配。MAC 层也为其他目的保留一些连接，如初始竞争接入和广播或多播传输，包括轮询 SS 的打开需求。

无线链路控制

射频链路控制（RLC）是 IEEE 802.16 MAC 层的另一个关键技术，它能够通过自适应的突发控制和传统的功率调节功能（TPC）。

当用户加入网络时，SS 和 BS 通过基本的管理连接交换信息，以建立发送功率和时钟的初始设置。SS 需要具体的初始突发协议来定义基于设备能力和下行链路信号质量的信号调制参数。初始化建立后，RLC 将继续监视信号质量。如果环境条件恶化，SS 或 BS 可能会要求更加健壮的突发应用协议，例如暂时从 64-QAM 转换到 16-QAM；如果条件改善了，即较低的健壮性可以容忍时，也可采用一种更有效的协议。

上行链路的突发协议受 BS 的直接控制，这种控制在每次 BS 分配带宽给 SS 时实现。与此同时，也指定了 SS 所使用的突发协议。虽然下行链路的协议根据 SS 的要求而改变，其中每个 SS 也能单独监视接收信号的强度，但它也受 BS 的控制。

灵活的带宽分配

在用户间灵活分配可利用的带宽资源，是 IEEE 802.16 MAC 层的第三个关键要素。每个（BS）潜在的上百个不同服务以及可伸缩性都会对带宽的有效利用产生大量的需求。

MAC 层定义了用户站（SS）的两种类型（如表 3.7 所示）。每个连接授予（GPC）和每用户站授予（GPSS）。其区别在于 SS 使用分配带宽的灵活性。

表 3.7 IEEE 802.16 MAC 层定义的 SS 类型

SS 类型	能 力 描 述
GPC 用户站	分配给 SS 的带宽只能用于申请它的连接
GPSS 用户站	由 BS 分配给 SS 的带宽不必用于申请其他的连接，也可用于 SS 的任何连接

GPSS 以一些额外的复杂性为代价，提供比 GPC 更高的有效性和更大的可伸缩性。例如，允许 SS 对改变的环境条件做出更快的响应。GPSS 需要 SS 的额外信息来管理连接的 QoS。很明显，这是网状网中 SS 自治的一个方面。

MAC协议数据单元（PDU）格式

IEEE 802.16 MAC 层支持点到多点（PMP）和网状网（Mesh）两种网络拓扑结构。在 PMP 结构中，下行方向只有 BS 发送，上行带宽由多个 SS 共享，BS 同时负责上行和下行带宽资源分配，每帧的分配结果体现在下行映射（Downlink MAP）和上行映射（Uplink MAP）结构中。SS 根据 Downlink MAP 和 Uplink MAP 的规定接收和发送数据/管理信令。Mesh 模式则允许不同 SS 之间不通过 BS 直接通信。在 IEEE 802.16-2004 中，进入每个子层而未被处理的数据称为服务数据单元（SDU），经过子层处理后形成特定格式的数据称为 MAC 协议数据单元（PDU）。同时，本层形成的 PDU 即为下一层的 SDU。CPS 子层对经过 CS 子层汇聚之后的服务数据单元（SDU）进行打包（Packing）和分段（Fragmentation）操作，把数据重新整理成适合空中接口传输的 SDU，并加上 MAC 帧头而形成 PDU。MAC 经过串接（Concatenation）操作将采用相同编码调制方式的 PDU 形成一块数据（协议中称为 Burst，即突发）递交给物理层进行发送。同时，CPS 层也支持相反的操作。

MAC 协议数据单元（PDU）是 BS 和 SS 的 MAC 层传递数据的基本单元。一个完整的 PDU 是由一个 48 比特固定长度的 MAC 帧头、变长的净荷和可选的 32 比特循环冗余检验（CRC）和组成，如图 3.11 所示。

通用 MAC 帧头	可长的净荷（可选）	CRC 和（可选）
-----------	-----------	-----------

图 3.11 IEEE 802.16 MAC PDU 格式

根据 MAC 帧头内的头类型（HT）字段不同，MAC 帧头分为普通 MAC 帧头和带宽请求帧头两种。

普通 MAC 帧头用于传输数据/管理信令；带宽请求帧头直接形成 PDU，即不带净荷，SS 用它申请带宽。MAC 定义了 5 种子头，分为两类：一类是每个 PDU 之前（per-PDU）的子头，每个 PDU 前出现一次，共有 4 种，包含网状网（Mesh）、分段、快速反馈分配和授予管理子头；第二类是每个 SDU 之前（per-SDU）的子头，每个 SDU 前出现一次，只有打包子头一种。比较常用的子头是授予管理、分段和打包子头。是否出现子头和出现哪些子头，由 MAC 帧头内的类型（Type）域决定。

此外，IEEE 802.16 MAC 层定义了 43 种（类）管理信令，用于维护 WiMAX 系统的正常运行和管理。管理信令作为普通 MAC PDU 的净荷被传送，接收端根据 MAC 帧头内的 CID 判断净荷中包含的是普通数据还是管理信令。管理信令按其优先级和对时延的要求，从高到低依次分为基本（Basic）、主要（Primary）、次要（Secondary）3 种，而且管理信令不能用传输连接进行传输。由于 OFDMA 物理层采用 CDMA 码进行初始测距，因此支持 OFDMA PHY 的 MAC 层不存在初始测距管理信令连接。

WiMAX初始化过程

SS 的初始化和进入网络要涉及一系列流程,通过这些流程的 SS 得以进入网络并在 BS 侧注册,以获得网络资源。如果在初始化过程中的某一环节出现异常或错误,SS 将根据情况重新初始化或扫描其他可用信道。这些流程包括:扫描下行信道,建立下行信道,设置上行参数,进行初始测距,协商基本能力,对 SS 进行认证和密钥交换,注册,建立 IP 连接,建立时间和日期,下载配置文件,建立业务连接。WiMAX 终端初始化流程如图 3.12 所示。

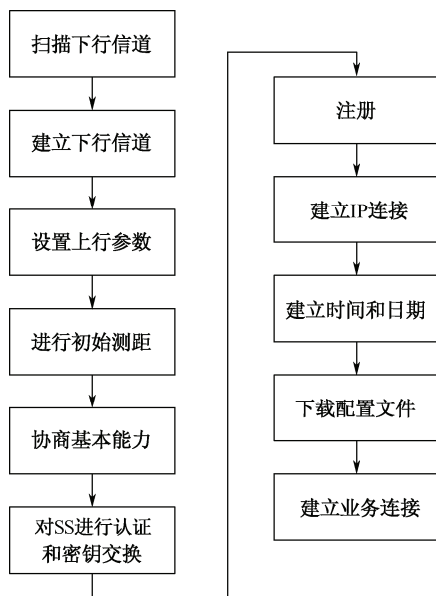


图 3.12 WiMAX 终端初始化流程

练习

1. IEEE 802.16 MAC 层包括哪几个子层?
2. IEEE 802.16 MAC 层有哪些主要功能?
3. 简述 MAC PDU 报文的格式。
4. 简述 WiMAX 初始化过程。

补充练习

1. 利用 Web, 研究如何为不同的 WiMAX 网络服务类型提供灵活、高效的接入。
2. 利用 Web, 研究 IEEE 802.16e 对移动 WiMAX 网络的主要支撑技术。

第五节 WiMAX网的组建

WiMAX 是一项基于 IEEE 802.16 标准的技术,主要用于城域网(MAN)建设,可提供“最后一公里”无线宽带接入。WiMAX 可应用于固定、简单移动、便携、游牧和自由移动等应用场景,并最终能够在不需要直接视距基站的情况下提供移动无线宽带连接。

学习目标

- ▶ 了解 WiMAX 应用场景;
- ▶ 初步掌握运用 WiMAX 技术组建城域网的技术。

关键知识点

- ▶ 根据需要恰当选择 WiMAX 应用解决方案。

WiMAX应用场景

WiMAX 宽带无线接入根据其技术的演进以及市场演变,推出了 4 种应用模式,分别为固定式接入应用(IEEE 802.16d)、游牧式接入应用(IEEE 802.16d)、便携式接入应用(IEEE 802.16e)以及全移动接入应用(IEEE 802.16e)。WiMAX 无线宽带接入的典型业务应用场景如图 3.13 所示。由图可知,典型业务应用主要为:蜂窝通信的回传、WiFi 热点的回传、一些 xDSL 难以覆盖和接入的地区、大型企业的 T1/E1 服务等。

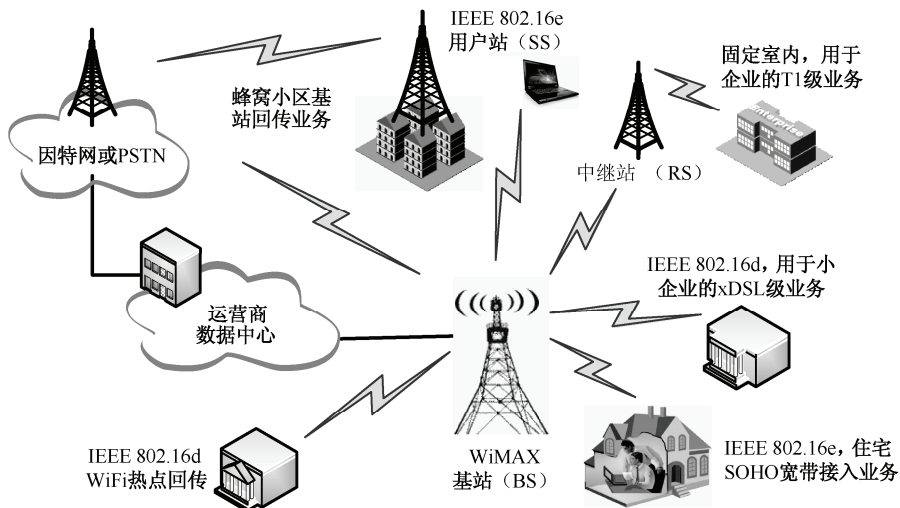


图 3.13 WiMAX 无线宽带接入的典型业务应用场景

固定式接入应用

固定式接入应用是 IEEE 802.16 运营网络中最基本的业务模型,包括用户因特网接入、传输承载业务及 WiFi 热点回传等。这类应用类似于 xDSL 或电缆宽带业务。在这种方式下,并不支持便携式连接或切换。在无线 IP 宽带连接建立之前,必须进行认证或授权。而接收终端一般为机顶盒,并配有室外型的集光纤配线单元(ODU)和天线。其典型应用为类似于中国电信的固话网,可以用 WiMAX 给郊区、农村等地方提供宽带网络。

游牧式接入应用

游牧式接入应用是固定接入方式发展的一个新阶段。其终端可以从不同的基站接入点接入到一个运营商的网络。在每次会话连接中,用户终端只能进行站点式的接入;在两次不同网络的接入中,不保留传输的数据,即不支持不同基站之间的切换,但可与固定式接入同时使用。

便携式接入应用

便携式接入应用在游牧式接入应用的基础上进行了改进。在这一场景下,用户可以以步行速率接入到网络。除了进行小区切换之外,连接不会中断。当终端静止不动时,其应用模式与游牧式接入应用相同。当终端进行切换时,用户将经历短时间(最长为 2 s)的业务中断或感到一定延迟。切换过程结束后,TCP/IP 应用对当前 IP 地址进行刷新,或者重建 IP 地址。这种应用模式主要面向家庭和商务人士,其终端可为 PCMCIA 卡,市场容量较大。

全移动接入应用

全移动接入应用包括简单移动应用和自由移动应用两种场景。简单移动应用场景是指用户在使用宽带无线接入业务时,能够以步行、驾驶或者乘坐公共交通工具等方式进行互动,但当终端移动速度达到 60~120 km/h 时,数据传输速率将有所下降。自由移动应用场景是指用户可以在移动速度为 120 km/h 甚至更高的情况下,无中断地使用宽带无线接入业务。当没有网络连接时,用户终端模块处于低功耗模式。

全移动接入应用是 WiMAX 发展的终极应用。在这种应用模式下,可以漫游切换,并支持普通车速移动下不间断的无线接入应用,它是面向个人用户的、类似 PDA 的终端市场。

以上几种应用场景的主要区别在于 SS 的移动性、移动中的切换、无线资源的管理、QoS 和功率控制等方面。IEEE 802.16d 主要适用于中小型企业接入和无线传输环境,IEEE 802.16e 主要适用于家庭接入和个人终端接入,均支持视距、语音和视频等业务,可与 2G/3G、WLAN 及下一代网络等技术混合组网。典型应用场景如下:

- ▶ 支持无线终端的无线接入;
- ▶ 蜂窝通信基站之间的无线连接,以延伸网络覆盖范围;
- ▶ 面向家庭和企业,为尚未铺设 xDSL 的地区提供无线接入服务;
- ▶ 实现室外 WiFi 热点区域的覆盖,保证移动用户在 WiFi 网络和 WiMAX 网络中无缝漫游。

WiMAX组网方案

WiMAX 的组网方案大概可分为两种：一种是小区蜂窝架构，也可称为点到多点拓扑结构（PMP），网络中所有的结点都直接与基站通信，由基站来控制所有的传输和资源的分配；另一种是自组织网状网（Mesh）结构，所有结点间通过一跳或多跳链路相互通信。

PMP 组网方式

宽带无线接入系统大多采用 PMP 结构，其组网方案是以基站（BS）为核心，采用点到多点的连接方式，构建星状拓扑结构的 WiMAX 接入网络，如图 3.14 所示。

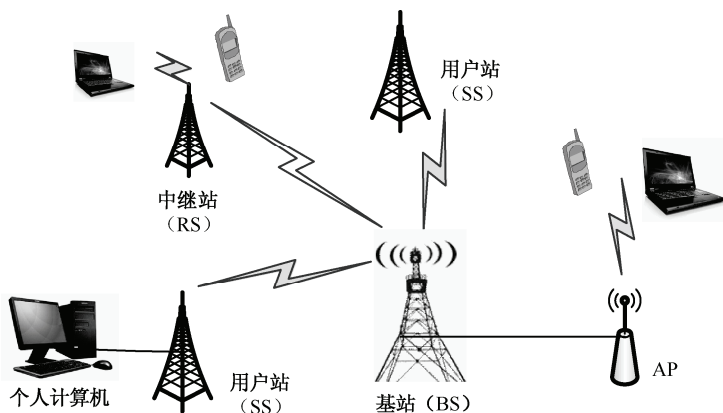


图 3.14 WiMAX PMP 结构的接入网

BS 扮演业务接入点（AP）的角色。通过动态带宽分配技术，BS 可以根据覆盖区用户的情况，灵活选用定向天线、全向天线以及多扇区技术来满足大量的用户站（SS）设备接入核心网的需求。必要时，可以通过中继站（RS）扩大无线覆盖范围。还可以根据用户群的数量变化，灵活划分信道带宽，对网络扩容，实现效益与成本的协调。

PMP 组网方案的特点在于网络结构简单，其应用模式与 xDSL 等线缆接入形式相似，因此是一种替代线缆的理想解决方案。

Mesh 组网方式

在 IEEE 802.16 标准中，Mesh 模式是一种可选模式。Mesh 网络是一种动态自组织，自配置的网络，网络中的结点自动建立和维护它们之间的连接。因此，这种组网方式具有搭建快速、维护简易等优点，如图 3.15 所示。

无线网状网络是一种多跳、具有自组织和自愈特点的宽带无线网络结构，即一种高容量、高速率的分布式网络。作为一种新型网络结构形态，Mesh 结构已被纳入 2004 年的 IEEE 802.16e

以及即将制定的 802.11s 标准。比较典型的一种组网方案是将 WiMAX 无线接入系统和 Mesh 网络结构结合起来,如图 3.16 所示,通过 WiMAX 无线宽带接入基站,实现 Mesh 网络中的网关节点到骨干网的接入。

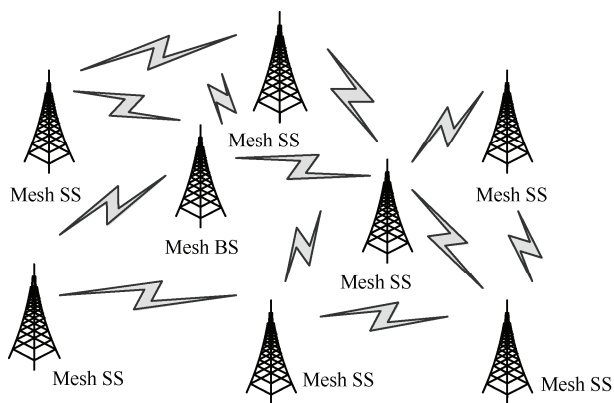


图 3.15 WiMAX Mesh 结构的接入网

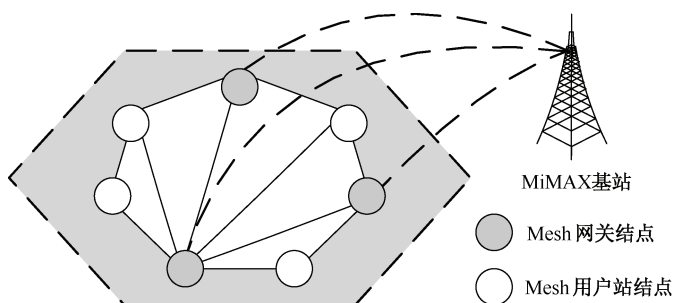


图 3.16 WiMAX 与 Mesh 混合组网

WiMAX 网络系统设计

WiMAX 网络系统一般包括 WiMAX 终端、WiMAX 无线接入网和 WiMAX 核心网等部分,如图 3.17 所示。根据所采用的标准和应用场景,WiMAX 终端包括固定、游牧(IEEE 802.16d)以及便携、移动(IEEE 802.16e)等类型。WiMAX 无线接入网主要指基站,它实现无线资源管理等功能,有时为了方便而与其他网络互连互通,还需要包括认证、授权、计费(AAA)服务器。WiMAX 核心网主要实现用户认证、漫游等功能,并且提供与其他网络互连的接口。

IEEE 802.16 协议只定义了无线空中接口标准,没有涉及核心网。作为一种新兴的网络,IEEE 802.16 首先是对现有无线网络的一种补充,用于满足高速传输的需求。与现有无线网络互连互通,充分利用现有无线网络的核心网是 WiMAX 发展应用的关键。如何组网是 WiMAX 商用的关键问题之一,需要仔细、深入地研究。WiMAX 组网的关键技术如下:

- ▶ 基于 OFDM 技术的 WiMAX 网络规划设计, 其中如何提高其频率复用率是关键;
- ▶ WiMAX 无线接入网与现有核心网的互联, 即如何把 WiMAX 系统的无线接入网和基于 IP 技术的核心网有机结合起来, 支持无缝的移动性管理, 保证用户的 QoS 要求, 同时便于计费、认证和鉴权等。

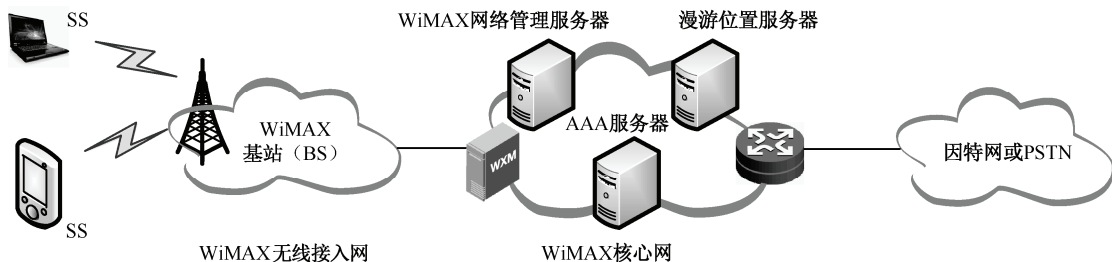


图 3.17 WiMAX 网络系统

WiMAX与现有网络的联合组网

基于 IEEE 802.16 标准的 WiMAX 无线宽带通信系统在支持高速数据业务方面具有非常出色的能力。如果将 WiMAX 与现有无线通信网络联合组网, 可以优势互补, 是一种很有发展前途的解决方案。

WiMAX 与 3G 联合组网

以第三代移动通信技术 WCDMA、cdma2000、TD-SCDMA 为代表的 3G 系统, 理论上能支持最高数据传输率为 2 Mb/s 的数据业务, 但目前对数据业务传输速率的要求达到 10 Mb/s 甚至更高。

WiMAX 移动通信系统主要定位于分组数据的业务传输, 其峰值数据传输速率可达到 75 Mb/s, 比 3G 系统要高出很多; 但其主要应用为固定、便携或者低速移动的用户接入, 在网络建设初期和中期阶段并不支持高速移动下的无缝漫游。而 3G 移动通信系统具有支持快速漫游以及可以提供全网覆盖的语音业务功能。如果在组网时将 WiMAX 和 3G 两大系统结合起来, 让 WiMAX 重点实现宽带无线化, 满足热点地区的高速数据业务需求, 让 3G 重点实现移动通信的语音通信高质量和无缝漫游, 则可以实现两大系统的优势互补。虽然两者在技术上有较大差异, 但在空中接口部分 TD 和 WiMAX 都是利用 TDD 方式, 这给 TD 借鉴 WiMAX 空中接口技术提供了可能, TD 可以在保持自己优势的同时, 借鉴 WiMAX 空中接口技术发展 TDD-OFDM 技术, 使自身能更好地向 B3G 甚至未来的 4G 演进。因此, 3G 与 WiMAX 联合组网是可行的, 而且是一种很有优势的联合组网方案。

就 TD-SCDMA 而言, 从信道计算和基站建设方面考虑, 要建设高质量、高速率的数据无缝覆盖, 就要求小区半径不能太大, 否则投资规模太高, 并且从经济效益上来说也不适合支持

热点地区的数据业务覆盖；WiMAX技术恰能解决这些问题。理想的联合组网方案是：利用WiMAX对高速数据业务的支持能力、WiMAX覆盖高速数据业务密集城区、TD-SCDMA支持快速漫游以及可提供全网覆盖的通话业务的优势，来实现语音和低速数据的连续覆盖，并且还可以利用WiMAX系统提供E1接口实现TD基地站的互连，如图3.18所示。

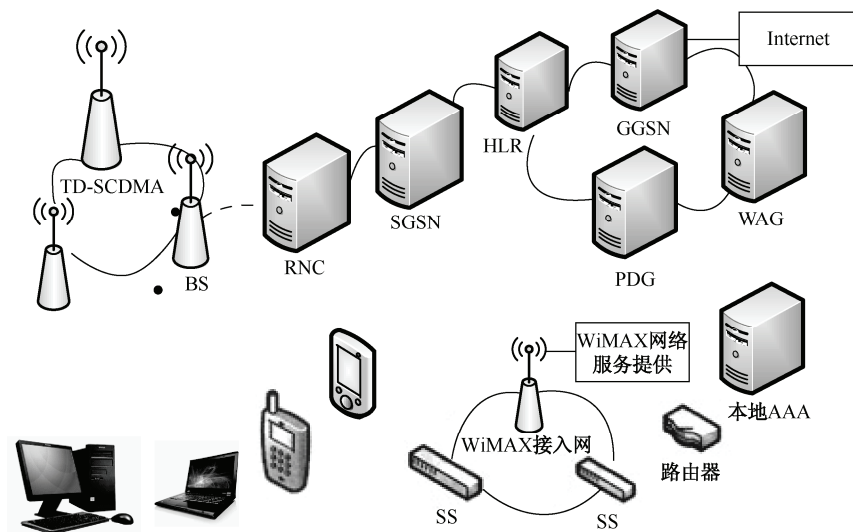


图 3.18 TD-SCDMA 与 WiMAX 联合组网

具体来说，对于3G用户，WiMAX与3G的联合组网可以提供更高速的宽带数据业务以及更为经济的宽带接入价格；对于WiMAX用户，WiMAX与3G的联合组网可以提供更广域的无线接入服务，以及更好的移动性能。另外，WiMAX技术与3G的融合有助于降低3G网络的建设和运营成本，并提高移动和无线宽带业务的服务质量。

WiMAX 与 Wi-Fi 联合组网

Wi-Fi是目前发展较快的基于IP的无线网络技术，其特点是带宽较高但通信范围小，因此主要用于小范围的无线通信，被定义为无线局域网。Wi-Fi能在一定程度上和一定范围内满足移动城市的要求，但存在着以下不足之处：

- ▶ Wi-Fi的特点决定了一个区域只能有一套系统，否则会产生干扰。而多个运营商之间的计费、漫游也是制约其发展应用的因素。
- ▶ 受传输距离小的限制，每个Wi-Fi接入点成为网络孤岛，很难覆盖整个城市。
- ▶ 无法在高速移动下使用，使地铁和公共汽车等公交系统成为网络盲区，无法真正实现移动城市。

WiMAX与Wi-Fi联合组网，可以解决Wi-Fi存在的这些问题。WiMAX与Wi-Fi联合组网的典型方案是利用WiMAX把Wi-Fi热点连接起来，为WLAN AP提供E1/T1和IP双通道无线传输，

实现更广范围的高速无线接入,使Wi-Fi摆脱地域空间限制,更好地给用户提供数据服务。WiMAX与Wi-Fi和3G联合组网,利用统一的管理平台实现用户信息的共享,可以大大提高现有网络的性能,如图3.19所示。

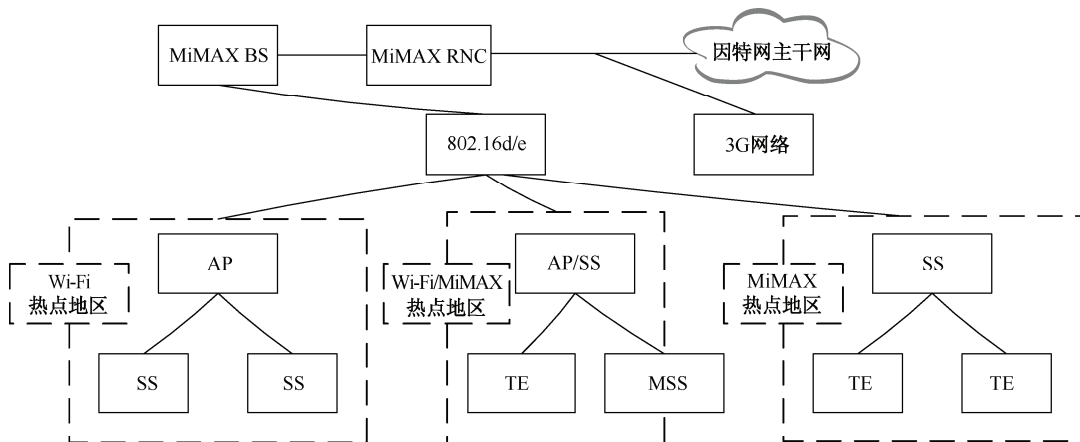


图 3.19 WiMAX 与 Wi-Fi 和 3G 联合组网

WiMAX 是一种新兴的却极具竞争力的无线宽带接入技术,同广泛使用的无线网络相比,有着自己独特的优势。Wi-Fi 技术可以提供高达 54 Mb/s 的无线接入速率,但传输距离有限,仅限于半径约为 100 m 的范围;而移动电话系统可以提供非常广阔的传输范围,但是接入速度却十分缓慢。WiMAX 刚好弥补它们的不足。因此, Wi-Fi (无线局域网)、WiMAX (无线城域网) 和 3G (无线广域网) 三者联合组网,可创造出一个完美的无线网络。

练习

1. 结合一个 WiMAX 网络解决方案描述 WiMAX 网络的应用领域。
2. WiMAX 技术的作用是什么?
3. 试绘出 WiMAX 网络的拓扑结构图。
4. 尝试设计一个 WiMAX 网络固定接入解决方案。
5. 尝试设计一个 WiMAX 网络移动接入解决方案。

补充练习

1. 利用 Web, 研究设计 WiMAX 与 3G 联合组网的解决方案。
2. 利用 Web, 研究比较 WiMAX 与 Wi-Fi、xDSL 及 Cable 等技术, 总结 WiMAX 技术具有哪些业务优势。

本章小结

随着数据业务需求的不断提高,越来越多的用户希望通过无线接入系统实现高速数据业务,这一需求推动了宽带无线接入技术的发展。随着 IEEE 802.16 标准化工作的进展, WiMAX 论坛正在加速推进相关应用工作。

IEEE 802.16 标准是一种无线城域网技术,它能向固定、便携、移动设备提供宽带无线连接,可用来连接 IEEE 802.11 热点与因特网。它的服务范围可达 50 km,用户与基站之间不要求视距传播,每基站提供的总数据速率高达 280 Mb/s,这一带宽足以支持数百个采用 T1/E1 型连接的企业和数千个采用 xDSL 型连接的家庭。IEEE 802.16 标准得到了通信设备制造商的大力支持;它可以根据业务需要提供实时、非实时的不同速率要求的数据传输服务,目前主要提供宽带数据业务,也可以提供 VoIP 业务。IEEE 802.16 系统的 QoS 机制可以根据业务的实际需要动态地分配带宽,具有较大的灵活性。

WiMAX 作为一种新的接入技术,需要解决如何与现有网络的融合问题。目前 WiMAX 仅是作为一种接入和传输手段,IEEE 802.16 标准中也只规定了空中接口,对于 WiMAX 进一步的商业部署与实现,还需要明确其基本的网络构架和参考模型,确定接口规范等。WiMAX 是作为一个强势的竞争者与 3G、xDSL、Wi-Fi 等技术竞争,还是与它们优势互补达成共存,对此 WiMAX 论坛给出的答案是:通过 3G 的持续部署, WiMAX 可以凭借其高速的数据传输速率满足用户对数据业务的要求,弥补 3G 在数据业务上的不足。2007 年 10 月 19 日,在日内瓦举行的国际电信联盟无线通信全体会议上,经过多数国家投票通过, WiMAX 正式被批准为继 WCDMA、cdma2000 和 TD-SCDMA 之后的第四个全球 3G 标准。

小测验

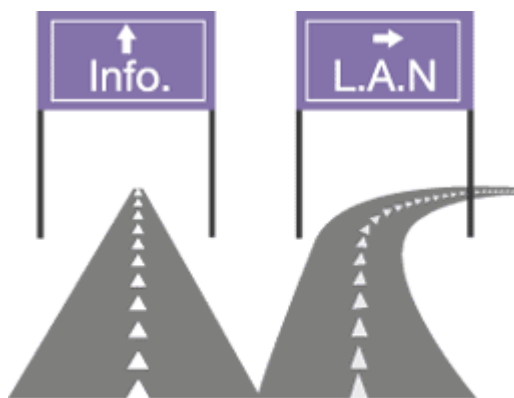
1. 支撑 WiMAX 系统的关键技术有哪些?
2. 什么是 OFDM 技术?
3. 什么是多输入多输出 (MIMO) 技术?
4. MAC PDU 报文的格式是什么?
5. 如果联合组网, WiMAX 可通过哪些方式与现存无线网络 (2G 或 3G) 通信?
6. 什么是智能天线技术?
7. 基于软件无线电的移动通信将会有哪些特点?



第四章

广域网基础

- 1 电信网络
- 2 语音网络及技术
- 3 语音网络上的计算机信号
- 4 语音信号的数字化
- 5 广域网的组成



概 述

局域网主要用来连接机构内部的网络,当机构的地理位置超出一定的范围时,就需要使用广域网进行互连。所以,广域网(WAN)是一种运行地域超过局域网的数据通信网络。广域网与局域网的主要区别之一是需要向外部的广域网服务提供者申请广域网电信网络服务。一般使用通信公司提供的数据链路在广域网服务内访问网络。

一般来说,广域网是通信公司建立和经营的网络,它的地理范围很大,可以跨域国界,可达世界上任何地方。通信公司把它的网络分次(拨号线路)或分块(租用专线)出租给用户,以收取服务费用。计算机连网时,如果距离遥远,就需要通过广域网进行转接。最早出现的广域网是公共交换电话网,后来出现了各种公用数据网。这些网络在互联网中都起着重要作用。

广域网服务提供者可以提供各种速率的广域网链路,单位可以是比特每秒(b/s)、千比特每秒(kb/s)、兆比特每秒(Mb/s)或吉比特每秒(Gb/s)。以上描述一般指全双工,所以,一条E1线路双向都是2 Mb/s,或T1线路双向都是1.5 Mb/s。由于传输距离较局域网长得多,所以广域网的数据传输速率比较低。

本章将集中讨论广域网用到的一些基本概念和远程通信网络的基础结构。远程通信基础结构已有多年的发展,最初设计它的目的是用于语音通信;但随着数据通信的发展,有了传输多种类型数据的需要,于是人们就引入了不同类型的技术和服务,以供在语音网络上传输语音、数据、视频等多种类型的数据。

第一节 电 信 网 络

电信(Telecommunication)的含义是指“长距离通信”。这个术语最初表示在铜线上传输语音信号(会话)。网络本来是为在两部电话之间传递语音信号而设计的,现在可以有多种用途。本节主要介绍电信网络的发展和一些应用。

学习目标

- ▶ 了解电信网络的发展和基本应用。

关键知识点

- ▶ 电信网络传输的不仅仅是语音。

电信网络的发展

从最广的角度来看,今天的电信网络主要经历了4个发展阶段:

- ▶ 19 世纪末期开始的、历时 75 年的模拟语音网络；
- ▶ 模拟语音网络向在计算机之间传输数字数据转变；
- ▶ 20 世纪 60 年代开始的模拟语音网络向数字语音传输技术转变；
- ▶ 数字语音网络向数据通信转变，开始于 20 世纪 80 年代早期，用 T1 传输数据并沿用至今，有了 ISDN 和 ATM 等技术的应用。

1874 年，Alexander Graham Bell 发现：通过电流强度变化，可以在导线中用电流传送声音。此电流对应于人类发出的声音造成的空气密度的变化。1876 年 2 月 14 日，Bell 先生申请了电话发明专利。1876 年 3 月 10 日，他在导线上发出了电流传送的第一句话。

如果不是因为客观需要而产生一些连接方式的变化，电话就没有多大的用处。1878 年，在美国康涅狄格州的 New Haven 建立了第一个交换局。这就是后来称为中心局（CO）的所有交换局的前身。CO 交换机提供了电话服务用户之间的任意连接，如图 4.1 所示。

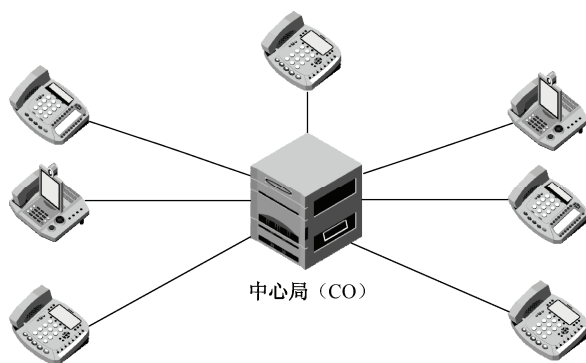


图 4.1 中心局（CO）交换机

直到 20 世纪后半叶，电信网络仍然专门用于传输模拟语音信号。随着计算机和语音数字化的出现，电信网络开始从严格的模拟网络向数字网络转移。不论信息是语音信号的数字化表示，还是计算机数据等其他类型的信息，今天的电信基础设施都是基于数字信息传输的。

不只是文字通信

今天，传送语音、数据和视频信号的通信系统遍布全球。信息可以通过卫星反射回来，也可以直接通过横穿整个海洋的光缆进行传输。现在，曾经只用于传输语音会话的网络已经成为可以进行多种形式通信的基础设施。网络的使用不断发展应用，通过网络提供的服务也越来越多。

练习

1. 电信网络能传输什么类型的信息？
2. 在过去的几年中，通过电信网络传输的信息内容是如何变化的？

3. 如果语音通信（比如电话技术）不存在，将对生活产生什么样的影响？
4. 描述电信网络的发展过程。

补充练习

1. 利用 Web，研究电话的发明和电话业的早期发展。
2. 研究你所在地区利用铜缆进行的通信服务。

第二节 语音网络及技术

早期的电信网络只能用于传输语音，而且完全是模拟的。今天的网络主要是数字的，可传输所有类型的家用信息和商用信息。随着电信网络的发展，通信方式也在发展，物理电路的效率不断提高而成本不断降低。对于模拟语音网络来说，有两种重要的技术：双工和频分多路复用（FDM）。

本节主要介绍模拟语音网络和相关的技术。

学习目标

- ▶ 了解电信网络的基本应用；
- ▶ 掌握模拟多路复用器的基本操作；
- ▶ 掌握干线的功能，理解单工、半双工和全双工的概念。

关键知识点

- ▶ 早期的语音网络是基于模拟信号的；
- ▶ 多路复用器用于将多个语音会话组合在一起传输。

模拟网络的连接

在电信的早期，语音是作为连续变化的电信号通过用户（电话使用者）的听筒和 CO 之间的一对线路（本地环路或用户线环路）传输的。图 4.2 给出了一个典型的模拟电路。在使用数字拨号以前，CO 都是有名字的，比如“Prospect”或者“Elgin”，因此电话号码以中心局名的缩写开头，例如 PR6-6178 或者 EL3-1978。其中电信号的频率大约是 300~3 400 Hz。尽管人类可以听到大约 20~20 000 Hz 的频率，但是大部分的语音能量集中在 300~3 400 Hz 的范围内。

早期的电话系统将每个用户连接到中心交换局，接线员在中心交换局提供用户之间的手动切换。直到 20 世纪 30 年代才实现了自动交换。在数字拨号以前，使用机电式交换机和纵横制交换机连接用户线。电话带有旋转拨号盘，可以为每个拨号数字产生一个电脉冲（“1”产生 1

个脉冲，“2”产生 2 个脉冲，依此类推，“0”产生 10 个脉冲）。脉冲“推动”交换机建立连接。

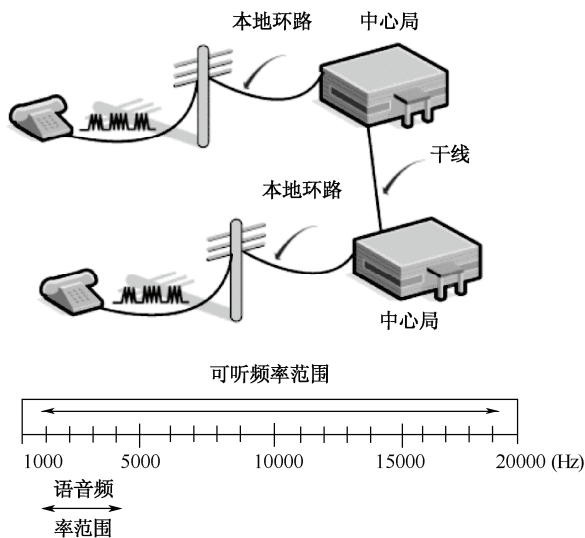


图 4.2 模拟语音电路

将用户连接到 CO 的线路叫作本地环路。由于电话系统的主要成本是将用户连接到 CO 的线路，因此 CO 所覆盖的地理区域相对较小，CO 之间通过所有用户可以分享的“干线”连接到一起。然而，随着 CO 数量的增加，需要将电话系统组织成层次结构。即使在一个大城区，要想连接所有的 CO，需要的干线也会非常多，更不要说连接全国的 CO 了。将每一个 CO 连接到一个收费中心，再用干线将收费中心连接起来，这样所需的干线就少得多了，而区域内的任何用户仍可以到达区域内的其他任意用户。随着时间的推移，就建立了一个连接全国所有 CO 的分层结构。

干线的减少

在一个全“网状”网络中，连接一个区域内的所有 CO 的干线的数量从地理上来讲增加了，因此即使只是很少数量的 CO 也需要很多的线路。因为彼此相距遥远的 CO 之间干线的使用率本来就相当低，所以这些 CO 也通过连接到收费站的星状网络互连。这种分层结构扩展到了 4 个更高的层。图 4.3 显示了 AT&T（美国）和国际电信联盟电信标准署（ITU-T）（国际）标准的符号和命名方法。

虽然每个中心都连接到了下一个最高中心，但是通常在两个中心之间会有很大的数据流量，例如地理位置比邻的两个 CO 之间。可以安装利用率高的干线来处理这种流量，而不是通过分层进行路由。这在图 4.3 中用虚线表示。

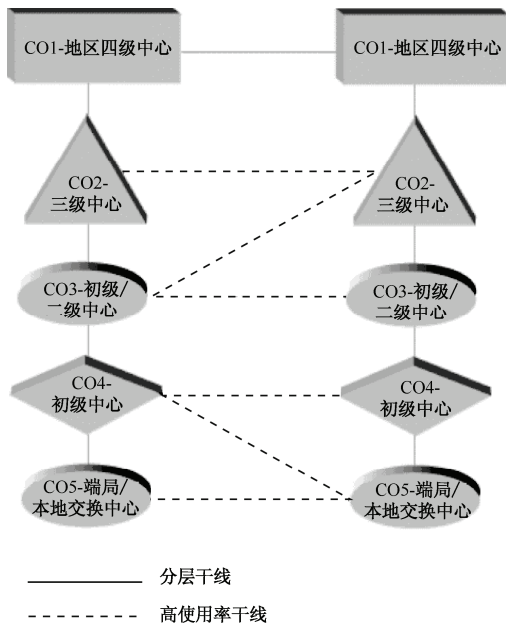


图 4.3 中心局层次

模拟技术

由于数据通信主要是通过公用电信网络进行的,因此理解这些网络的运行方式不仅对于数据通信非常重要,而且对于语音通信也非常重要。网络是为语音通信而不是为数据通信设计的,因此影响了它们的数据应用。在任何情况下,语音、数据和其他信息资源都将越来越多地通过 IP 网络来传输。

首先来看一下模拟技术。虽然目前在语音传输中已经不再经常使用模拟技术了,但是仍然有必要将理解这种技术作为背景知识。另外,在某些地方仍然在使用一些模拟技术(比如 FDM),在调制解调器中使用的是一种 FDM 技术。

在模拟网络中,最基本的电话电路是由两根导线构成的,如图 4.4 所示。

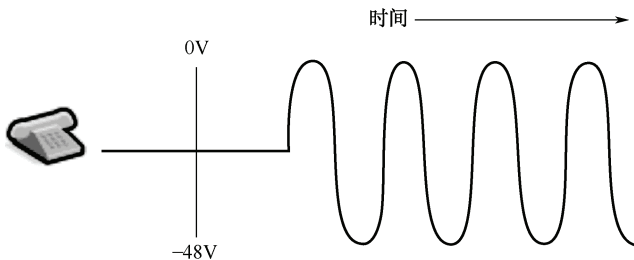


图 4.4 模拟电话电路

通过在电路中设置 -48 V 的电压,并利用说话者的声音施加在麦克风上的声能来改变电流,可以双向传输语言信号(如果双方同时说话,就同时传输)。其结果是在还原人的声音所需的频率范围内,产生了经调制的脉动直流电流(DC)。

如前所述,最终标准规定的频率范围是 $300\sim 3400\text{ Hz}$ 。根据声音大小的不同,脉动电流的振幅不同。例如,如果要用一种乐器向话筒发出 500 Hz 的连续音符,就会有一个 500 Hz 的信号在电话线中传输,其振幅在 $0\sim -48\text{ V}$ 之间波动,平均幅度是由音调的响度决定的。

频分多路复用(FDM)

长途干线的建设是很昂贵的,但是即使是第一条长途电话线所用的简单铜线,它所能传输的电信号的带宽也比传输语音信号所需的带宽要宽得多。开发FDM就是为了让只有两对线路的干线同时传输多路语音会话。由于最初开发的FDM技术有很多局限性,一个语音信道的标准带宽是 4000 Hz 。其中, $3400\sim 4000\text{ Hz}$ 之间的 600 Hz (也可称之为保护带)用来隔离多路复用线路上的信道,以避免信道之间的干扰。

FDM允许多路语音信号同时一条干线上传输(多路复用),如图4.5所示。由于FDM的细节过于技术化,在此无法全面解释,只介绍其基本原理。

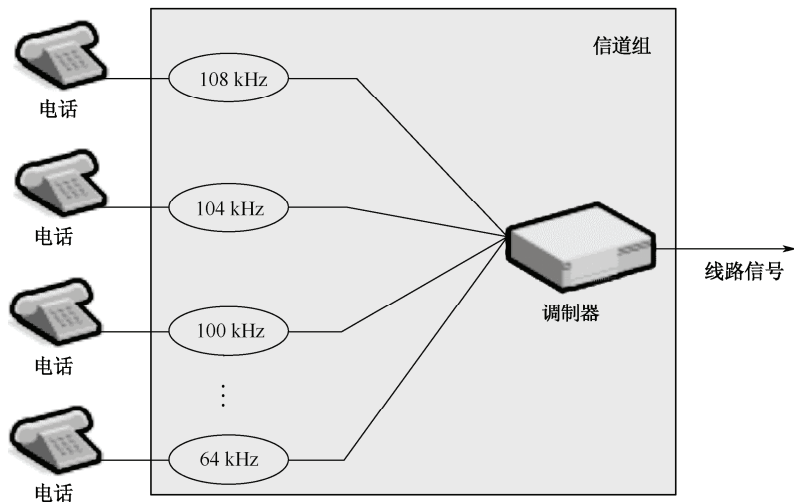


图 4.5 信道组

假设希望复用12路语音,则用以复用的干线可以传输的信号频率为 $60\sim 108\text{ kHz}$ 。

进行FDM传输复用的设备称为信道组。多路复用数字化语音信号的类似设备也称为信道组。下面简要说明了模拟信道组是如何用FDM来复用语音信号的。

信道组产生12路载波信号。每路载波是一个特定频率的稳定的信号。按照惯例,信道1代表最高频率(108 kHz),信道2代表 104 kHz ,依此类推,直到 64 kHz 的信道12。

信道组将每个信道的语音信号与该信道的载波信号混合在一起，这个过程如图 4.5 所示。它将 0~4 kHz 的信号转换为其频率介于载波频率与载波频率减去 4 kHz 之间的信号。例如，信道 12 的信号频率介于 64kHz（分配频率）和 60kHz（64kHz 减去 4kHz）之间。

最后在传输之前，信道组将来自混合器的 12 路输出信号同时调制到输出线路上。由于每个信号都限制在自己的频带中，所以这种调制是可以做到的。干线上的信号频率介于 60 kHz 和 108kHz（信道 12 的最低频率到信道 1 的最高频率）之间。

在接收端，设备用 12 个滤波器将信号进行分路。滤波器是一种电子设备，只允许特定频率范围的信号通过。在本例中，每个滤波器只允许其信道带宽内的信号通过。例如，信道 12 的滤波器只允许 60~64 kHz 范围内的信号通过。因此，滤波器的输出是只在其频率范围内的信号。

然后再将信号进行解调，恢复原来的语音信号。这是混合过程的逆过程。例如，对于信道 12 来说，介于 60kHz 和 64kHz 之间的信号要减去 60kHz，以便产生原来的语音信号 0~4kHz。

双工通信

尽管对于距离相对较短的典型本地环路来说，双线传输可以满足要求，但距离较长时，由于需要双向传送信号，双线传输就会出现問題。此时信号必须经过放大，当信号仅在一个方向传输时，进行放大要容易得多。因为这个，还有其他一些原因，干线采用双工传输，也就是说，使用两对线（四线）。每对电话线只在一个方向上传输，但两对电话线可以同时两个方向上传输。这种通信方式称为全双工通信，如图 4.6 所示。

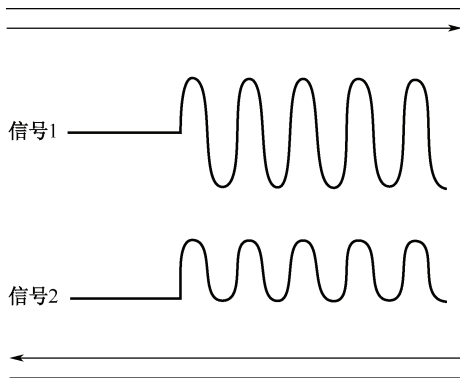


图 4.6 全双工通信

数据通信术语“半双工”和“全双工”与电话术语“二线”和“四线”密切相关，但其含义不完全等同。半双工电路是指提供双向传输、但是同一时间只提供单向传输的电路。全双工电路是指同时提供双向传输的电路。一个端到端、四线的电路提供全双工的能力。但是，只要将可用带宽分解成每个传输方向所需的独立频带（派生四线），二线电路也可以用于全双工通信。在使用拨号（二线）设备进行全双工数据传输时，通常使用这种技术。另一方面，四线电

路的存在并不一定表示通过同时使用两对电话线就可以实现全双工传输。

练习

1. 本地环路又可称作什么？能提供哪些业务？
2. 为什么必须建立 CO 层次结构？
3. 为什么通过电话很难听到高保真音乐？
4. 描述干线的功能及其在 CO 层次结构中的作用。
5. 全双工方式总是需要使用“四线”传输，对吗？
6. 多路复用是如何减少网络中物理电路的数量的？
7. 多路复用是如何降低电信网络的构建成本的？
8. 保护带的作用是什么？
9. 简要描述信道组的功能。

补充练习

1. 研究并描述在我国有多少种电话局，地区中心局在哪里？
2. 利用 Web，确定下面每个频段的频率范围：
 - a. 极低频 (ELF)
 - b. 亚低频 (ILF)
 - c. 甚低频 (VLF)
 - d. 低频 (LF)
 - e. 中频 (MF)
 - f. 高频 (HF)
 - g. 甚高频 (VHF)
 - h. 特高频 (UHF)
 - i. 超高频 (SHF)
 - j. 极高频 (EHF)
 - k. 超极高频 (THF)
3. 利用 Web，查找以上这些频率范围用于通信中的什么地方。

第三节 语音网络上的计算机信号

模拟网络是为传输表达人类语音的信号而设计的。当计算机出现时，语音网络已经建立了很多年，于是人们就开发了通过语音网络传输计算机信息的方法。本节介绍数字信号与模拟信号之间的区别，以及在典型网络中什么地方用到模拟信号而什么地方用到数字信号。

学习目标

- ▶ 了解模拟信号与数字信号之间的区别；
- ▶ 掌握调制解调器的基本功能。

关键知识点

- ▶ 数字信号通过模拟语音网络传输时必须进行变换。

模拟信号和数字信号

如果不经变换,数字信号(计算机信号)就不能通过为传输声音而设计的模拟设备进行传输。图 4.7 表示了数字信号与模拟信号不同的形成方式。模拟信号是波。数字信号是具有很短的上升(信号前沿)和下降(信号尾部)时间的一系列脉冲,形成方波信号。

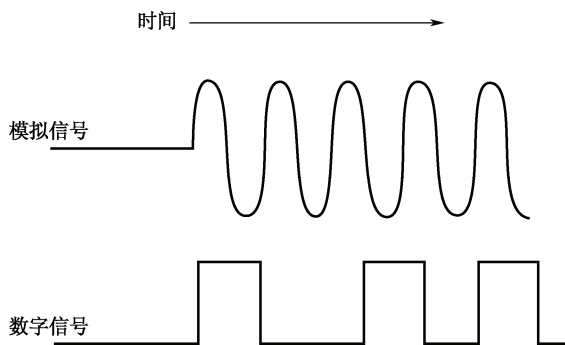


图 4.7 模拟信号和数字信号

这些快速转换是由高频谐波信号产生的,其频率通常在 8000 Hz 以上。在数字数据流中,以一系列脉冲传递的信息代表二进制的 1 或 0。例如,在一个给定点上,上升可能代表二进制数 1,下降可能代表二进制数 0。由于电话系统是为传输频率范围为 300~3400 Hz 的语音而设计的,不能适应这些高频信号。任何在模拟设备上传输这种信息的尝试都会引起数字脉冲的模糊或扭曲,使其失去“方波”特性。这种情况一旦发生,就不可能再看到数字脉冲的起点和终点。其他影响数字传输完整性的因素还有:

- ▶ 随着传输距离的增加,信号强度会降低。
- ▶ 传输速度也会影响数据完整性——数据速度越快,发送的脉冲就越多。随着发送脉冲的增多,相互间就更接近,波形更容易扭曲。
- ▶ 电气设备或大气环境的噪声也会影响数字数据流。

不仅模拟语音信号必须转换成数字信号,而且数字计算机信号也必须转换成模拟信号。

调制解调器

调制解调器(Modem)这个术语是“modulator-demodulator”(调制器-解调器)的缩写。调制解调器总是成对使用,电话线路的两端一边各一个。调制解调器可以通过一条 RS-232 电缆连接到计算机上,也可以包含在计算机内部(内置调制解调器)。图 4.8 给出了前一种设置。

为了发送信息,调制解调器要接收来自计算机的数字数据,并通过产生一个声频信号来调制电话线。接收端调制解调器对已调信号进行解调,产生要传输给终端或者计算机的数字数据。由于这个信号的频率都落在 300~3400 Hz 之内,因此可以像一个语音通话那样通过电话网络

传输。

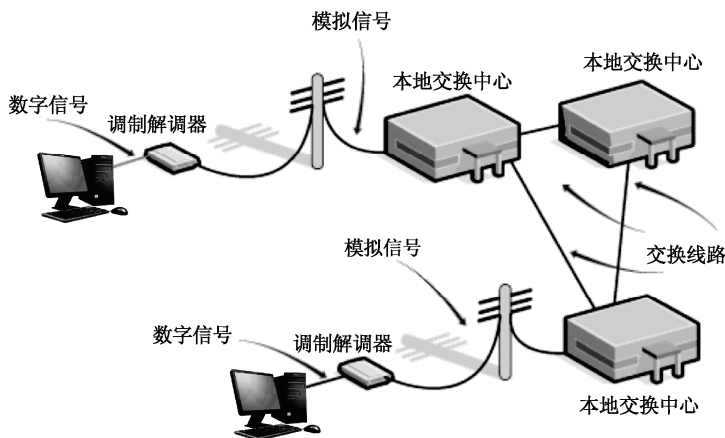


图 4.8 RS-232 与调制解调器

最简单的协议是通过切断和接通调制后的声频信号来分别代表 0 和 1。但这种技术能达到的最大数据传输速率只有 1200b/s。更复杂的编码协议能够大大增加有效数据速率。

收发两端的调制解调器必须使用同样的调制/解调协议。已经发布的标准规范有很多种，这样使得不同厂商的调制解调器可以在一起使用。

在远程电信网络通信中，不一定必须使用调制解调器。在很多情况下，信息以数字的形式通过网络从一个终端传输到另一个终端。

典型问题解析

【问题 1】 RS-232-C 的电气特性采用 V.28 标准电路，允许的数据速率是 (1)，传输距离不大于 (2)。

- (1) a. 1 kb/s b. 20 kb/s c. 100 kb/s d. 1 Mb/s
 (2) a. 1 m b. 15 m c. 100 m d. 1 km

【解析】 RS-232-C 采用 V.28 标准电路。V.28 的驱动器是单端信号源，所有信号共用一根公共地线，信号源产生 3~15 V 的信号，负载输入阻抗为 3~7 kΩ，数据传输速率为 20 kb/s，传输距离不大于 15 m。

可见，参考答案是 (1) 选项 b；(2) 选项 b。

【问题 2】 ITU V.90 调制解调器 ()。

- a. 下载速率是 56 kb/s，上传速率是 33.6 kb/s
 b. 上下行速率都是 56 kb/s
 c. 与标准 X.25 公用数据网连接，以 56 kb/s 的速率交换数据
 d. 时刻与 ISP 连接，只要开机，永远在线

【解析】1996 年出现 56 kb/s 的调制解调器，并于 1998 年形成了 ITU 的 V.90 建议。这种调制解调器采用非对称的工作方式，上行信道的数据速率为 28.8 kb/s 或 33.6 kb/s，下行信道的速率可达 56 kb/s。调制解调器与 ISP 连接，通过拨号上网，所以选项 c、d 均错误。

可见，参考答案是选项 a。

练习

1. 调制解调器有什么作用，为什么它是必需的？
2. 讨论是什么限制了大多数家庭和小公司用调制解调器访问信息的速度。
3. 为什么具有高频成分的数字信号不能在模拟信号线路上传输？。

补充练习

1. 如果可能的话，描述你所使用的调制解调器，并讨论它们的特点。
2. 使用 Web，研究目前的调制解调器规范，并在课堂上讨论。

第四节 语音信号的数字化

由于数字电信设施的优点越来越明显，因此有必要将模拟语音信号转换为数字格式。本节介绍模拟语音信号的数字化，以便能与数字电信网络兼容。

学习目标

- ▶ 了解为什么通过电信网络进行语音信号通信时，必须将模拟信号转换成数字信号；
- ▶ 了解为什么通过电信网络进行计算机信号通信时，必须将数字信号转换成模拟信号。

关键知识点

- ▶ 模拟语音必须转换为数字化格式。

模拟到数字

从模拟信号到数字信号的转换是将模拟波形转化为二进制格式的过程。进行这种转换的最明显原因是为了将语音信号（模拟信号）转化为数字信号，以便能通过数字电信主干网传输。使用数字信号的一个主要原因是减少在语音信号端到端传输中的噪声。模拟信号在进行放大时，信号和噪声都被一并放大。数字信号是重新产生的，从源结点传输到目的结点时不断产生新信号。

Codec（编解码器）是将模拟语音信号转换为在数字电路上传输的数字（二进制）格式的

设备。图 4.9 所示描述了这个概念。

图 4.9 中 A 表示原始的模拟波形, B 表示将与模拟波形结合的数字脉冲。模拟信号与数字信号的结合 (C) 产生与某个数字 (D) 相关的脉冲。这个数字与语音信号的一个样点有关。然后将这个数字转化为一个二进制数 (E), 并在电路中以数字形式传输。典型的取样速率 (字节产生的次数) 是每秒 8000 个样点, 即模拟语音信号传输带宽的两倍。在接收端, 进行相反的过程, 将数字信号重新转化为原来的模拟波形。

模拟-数字转换又称为 A/D 转换或者 ADC。它是将模拟波形信号转换成二进制格式的过程。一个最普通的例子是 Codec。该设备将模拟语音信号转换成数字 (二进制) 格式, 以便通过 T1 等数字路径进行传输。Codec 的输出与其他设备输出组合在一起, 多路复用到高速数字网络上。

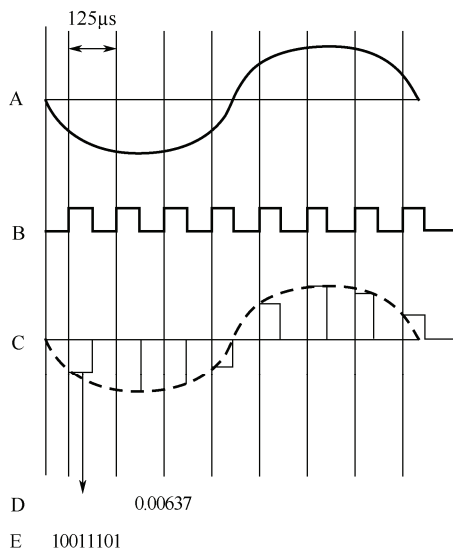


图 4.9 模拟-数字转换

多路复用

多路复用器 (MUX) 是一种计算机/电话设备, 它允许多种信号在同一物理介质上传输。多路复用器有多种类型, 比如时分多路复用器和频分多路复用器。图 4.10 显示的 3 个模拟语音信号, 经过 Codec 转换, 多路复用后变成串行的数字比特流。输入 Codec 的是模拟信号, 而输出的是数字信号。输入到多路复用器的是多个 (低速) 数字比特流。多路复用器的输出是高速数字比特流。

利用 Codec 和多路复用器, 可以将模拟语音信号转化为数字格式并结合到一起, 然后作为一串数字比特流在电信网络上传输。

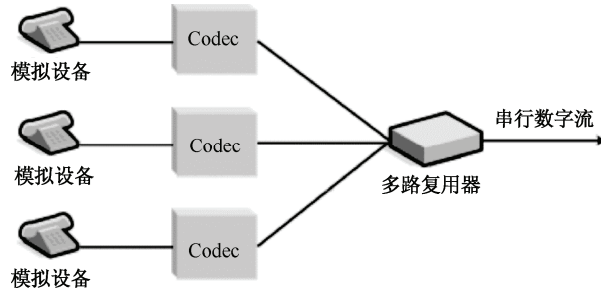


图 4.10 多路复用器

时分复用

时分复用（TDM）把许多低比特率的数字比特流组合成单个高比特率的比特流。从本质上讲，TDM 是一种多个低速通信信道“分时共享”一个高速信道的方式。其优点在于：在单一高速信道上传输每个比特的开销要比在多个低速信道上传输需要的开销少。

TDM 是通过简单地将多个比特流的数据交织在一起来实现的，可以基于二进制位，也可以基于字节（分别称为比特交织和字节交织），如图 4.11 所示。在时间间隔 1 中，传送来自源信道 1 的 8 比特数据。在其后的时间间隔中，输出信道传送来自后继源信道的字节。来自每个输入信道的一组完整的值称为一帧。

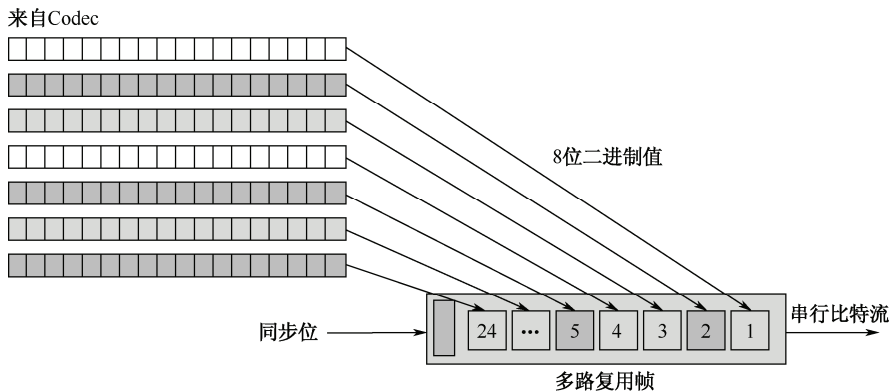


图 4.11 时分多路复用

波分复用

与时分复用（TDM）相对应的其他两种复用方式是波分复用（WDM）和密集波分复用（DWDM）。WDM 和 DWDM 利用多个光波长在单一光纤上传输信号。设想一下，一束光通过棱镜可以折射成为多个不同波长的分离色彩光。WDM 与此类似，每一波长以高达 2.5 Gb/s 的

速率承载信息。随着光技术的发展, DWDM 将更多的波长或信道合成在一根光纤中, 最高速率可达 1 Tb/s。这样, WDM 与 FDM 一样, 在传输管道中的每一分离信道能承载一系列数据。这些技术用来在 Internet 主干上传输 IP 服务, 其服务用术语“基于 WDM 的包”和“基于 DWDM 的包”来描述。

练习

1. Codec 只有在发送端需要, 对吗?
2. 如果对一个模拟信号以每秒 8 000 次的速率取样, 每个样点产生一个 8 位的字节, 那么以数字格式传输这个语音信号需要多少比特每秒 (b/s) 的速率?
3. 为什么必须对语音信号进行 ADC?
4. 画图表示 4 部模拟电话通过 Codec 和多路复用器方式与另外 4 部模拟电话进行通信的情形。在图中标出哪里是模拟信号, 哪里是数字信号。
5. 10 个 9.6 kb/s 的信道按时分多路复用在一路线路上传输, 如果忽略控制开销, 在同步 TDM 情况下复用线路的带宽应该是 (1); 在统计 TDM 情况下, 假定每个子信道只有 30% 的时间忙, 复用线路的控制开销为 10%, 那么复用线路的带宽应该是 (2)。

(1) a. 32 kb/s b. 64 kb/s c. 72 kb/s d. 96 kb/s

(2) a. 32 kb/s b. 64 kb/s c. 72 kb/s d. 96 kb/s

【解答提示】时分多路复用就是把时间划分为若干个时间段(时隙), 每个用户分得一个时间段, 该用户只能在该时间段中发送和接受信息。如果在分配的时间内用户没有要传输的信息, 则这段时间不能由其他用户使用, 而保持空闲状态。在其占用的时间段内该用户可使用信道的全部带宽, 10 个 9.6 kb/s 的信道合并在一起的带宽为 96 kb/s。

统计时分复用 (STDM) 主要适用于数字传输系统, 它是一种改进的时分复用。其特征在于不是固定为每路信号分配时隙, 而是根据用户实际需要动态分配, 只有当用户有数据要传输时才分配。当用户暂停发送数据时, 线路的传输能力可以被其他用户使用, 如图 4.12 所示。采用统计时分复用时, 每个用户的数据传输速率可以高于平均速率, 最高可达到线路总的传输速率。(2) 中传输数据所需总带宽为 $10 \times 9.6 \text{ kb/s} \times 30\% = 28.8 \text{ kb/s}$, 10% 的控制开销就是 90% 的线路带宽用于传输数据。所需线路总带宽 $\times 90\% = 28.8 \text{ kb/s}$, 得线路总带宽为 $28.8 \text{ kb/s} + 2.88 \text{ kb/s} = 31.68 \text{ kb/s}$ 。

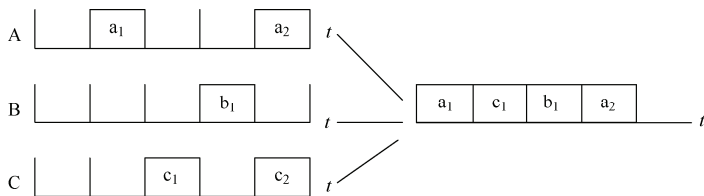


图 4.12 统计时分复用原理

因此, 参考答案是: (1) 选项 d; (2) 选项 a。

补充练习

1. 使用 Web, 研究以下产品, 并在课堂上讨论。
 - a. Codec
 - b. 多路复用器
 - c. 信道组
2. 使用 Web, 详细研究并讨论 TDM。

第五节 广域网的组成

局域网只能在一个相对较短的距离内实现, 当主机之间的距离较远时, 如相隔几十或几百公里甚至几千公里, 局域网显然就无法完成主机之间的通信任务。这时就需要广域网。广域网的地理覆盖范围可以从几十千米到几千千米, 可以连接若干个城市、地区甚至跨越国界而成为遍及全球的一种计算机网络。

本节介绍一种将数据和语音信号组合在一起通过电信网络传输的方法, 并给出广域网的组成方案。在后面的章节中, 还将介绍其他将语音数据和其他信号组合在一起在广域内传输的方法。

学习目标

- ▶ 了解在广域范围内传输语音和数据的一种方法;
- ▶ 理解为什么多路复用器在广域范围内既能传输语音信号, 又能传输数据信号。

关键知识点

- ▶ 二进制格式的语音和数据看上去是一样的。

广域网的数据传输

广域网是一个在大范围内建立的、跨地区的数据通信网。对照 OSI 参考模型, 广域网技术主要位于 OSI 模型的底层的层次: 物理层、数据链路层和网络层。

1 和 0

目前, 大多数电信设施都已经数字化了。如果从一个用户到另外一个用户的整个网络都是数字化的, 就可以将语音和数据组合在一起, 通过同一物理电路传输, 如图 4.13 所示。

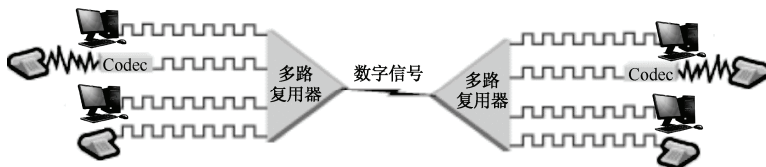


图 4.13 数字网络

在图 4.13 中,通过多路复用器方式将语音和数字信号组合在一起。其中的多路复用器是数字式多路复用器,它将多个数字信号组合到一条高速数字电路上。

数据传输

假设要从一台计算机向另一台计算机传输数据,来自计算机的信息本来就是二进制的,由许多 1 和 0 构成。因此,计算机的输出可以直接发送到多路复用器(在实际操作中,通常使用数字调制解调器)。多路复用器将来自计算机的数字信息,与其他输入信号结合起来,通过高速电路在网络中传输。在图 4.13 中以代表通信链路(通常是广域网链路)的闪电符号表示高速电路。

多路复用器的输出是计算机和其他数据输入的组合。这些输出结合在一起,通过通信链路传输到另一台多路复用器。在接收端,多路复用器接收连续的比特流,并将其“反向多路复用”到正确的端口(在本例中是另一台计算机)。

语音会话

语音信号也可以输送到多路复用器。注意在图 4.13 中包含了两种在广域范围内传输数字语音的方法。上面的电话具有模拟输出,这种输出传输到 Codec 中,产生对应于模拟输出的数字信号。Codec 的输出进入多路复用器,与其他信号结合在一起,通过广域网传输。

数字电话在其内部包含有模/数、数/模转换,因此不需要独立的装置对模拟信号进行编码和解码。例如,ISDN 电话在电话内产生数字输出信号,数字电话的输出传送到多路复用器中,与其他信号结合到一起,通过广域网传输。

广域网接入方案

从资源组成的角度来说,广域网可以由通信子网和资源子网两部分组成。通过将通信部分(子网)和应用部分(主机)分开,使得网络的设计得到简化。通信子网实际上是一个数据通信网,其主要功能是把数据信息从一台主机传送到另一台主机上。广域网中的通信子网通常使用电信运营商提供的设备作为信息传输平台,例如,可提供电话网连接到广域网,也可以提供专线或卫星连接。广域网中的资源子网是指联在网络上的各种计算机、终端和数据库资源等,这里的资源不仅指硬件资源,也包括软件和数据资源。

若从广域网的系统组成来看,广域网可分为骨干网、城域网和接入网三个层次,如图 4.14 所示。这与日常生活中的道路网络类似,骨干网相当于城市与城市之间的高速公路,城域网相当于城市市区内的道路,用户接入网则抵达每个网络用户。

在实际应用中,广域网的接入部分,也就是图 4.14 中位于用户局域网边界的接入路由器。通过采用点到点链路,将局域网连接到因特网。这里所说的点到点链路提供的是一条预先建立的从客户端经过电信网络,到达远端目的网络的广域网通信路径。一条点到点链路就是一条租

用的专线，可以在数据收发双方之间建立起永久性固定连接。



图 4.14 广域网接入方案

练习

1. 画图表示 8 台低速数字设备，包括 5 台数据和 3 台语音设备。这些设备连接到单独的多路复用器端口，并多路复用到一条高速电路上。在高速电路的另一端是另一个多路复用器，在其每个端口上都有类似的设备。
2. 如果每个端口可以传输 64 kb/s 数字信息，则高速电路的速率应该多大才能与全部设备相匹配？

补充练习

研究数字化语音和综合服务的早期发展，在研究中要包含以下内容：

- a. 模拟网络向数字网络的转变；
- b. 使用 T1 多路复用器组合语音和数据服务；
- c. ISDN 的早期发展。

本章小结

广域网技术是因特网的基础，该技术通常在运营商的网络上运用较多。作为网络工程师所应该掌握的广域网技术，主要是广域网协议，如 HDLC、X.25，以及帧中继等内容。

本章主要介绍了电信网络的基础和结构。电信网络设施已经发展了很多年，最初是为语音通信而设计的。随着通过语音网络传输数据的需求增长，出现了不同类型的服务和功能，以适应语音通信、数据通信以及其他服务类型的需要。使用各种技术和设备通过电信网络进行信息传输，可以只限于很短的距离（比如一个城市之内），也可以通过较长的距离传输。

不同国家对电信基础设施的组织和管理是不同的，并且在过去的几十年里发生了很多变化。在有些地方，对接入网络的管理和控制非常严格；在另外一些地方，则开放网络竞争，且允许各种传输速率和服务并存。

小测验

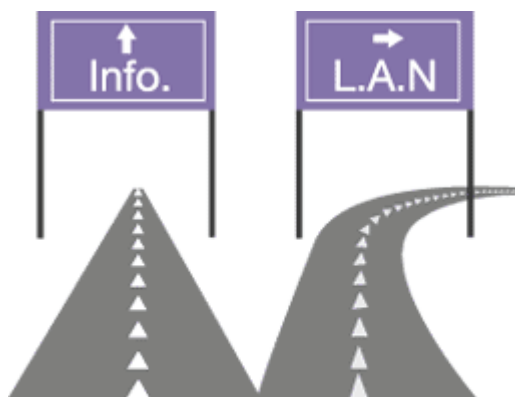
1. 连接不同的本地交换中心的链路叫作 ()。
a. 调制解调器 b. 模拟电路 c. 干线 d. 端局
2. 本地交换中心之间的连接主要是 ()。
a. 模拟连接 b. 数字连接 c. 非对称连接 d. 异步连接
3. 调制解调器用于 ()。(选 2 项)
a. 放大模拟信号 b. 将数字信号转换为模拟信号
c. 转发数字信号 d. 将模拟信号转换为数字信号
e. b 和 d 都对
4. 将许多家庭和公司连接到第一个 CO 的铜缆叫作 ()。
a. 本地环路 b. 干线 c. 数字环路 d. 专线
5. 下列属于广域网 QoS 技术的是 ()。
a. RSVP b. PSTN c. MSTP d. ISDN
6. 广域网有哪些发展趋势?



第五章

广域网设备及接入

- 1 广域网交换技术
- 2 广域网设备
- 3 连接到模拟网络
- 4 连接到数字网络
- 5 卫星通信
- 6 广域网应用



概 述

广域网本质上是由通信公司的通信链路连接起来的一组局域网。远程通信网络提供长距离信息传输的通信链路。由于通信链路不能直接接入局域网，所以需要各种接口连接设备。信息的类型有许多种，如语音、数据和视频等。另外，用以在广域网上传输信息的方法也有许多种。

本章主要讨论通过远程通信网络从信源到信宿传输信息的基本概念和组件，包括模拟与数字传输、电路类型以及在广域内从信源向信宿传输信息的不同模式。

第一节 广域网交换技术

广域网在接入和传输的过程中，常用的技术有多种，如电路交换、包交换、虚电路交换和光交换等。本章介绍的物理基础实际上组成了现在使用的所有网络，目的是介绍通过广域网设备进行通信所用到的电路类型。

学习目标

- ▶ 掌握不同的广域网传输方式，了解广域网交换技术；
- ▶ 了解电路的概念、交换虚电路（SVC）和永久虚电路（PVC）之间的区别；
- ▶ 掌握 SVC 信息传输的步骤。

关键知识点

- ▶ 虚电路具有单个物理电路的特点；广域网有多种交换技术可供选择使用。

电路交换

电路交换是广域网中最常用的一种数据交换技术，在电信网络中被广泛使用，其操作过程与普通的电话拨叫过程非常相似。所谓电路，是指两台通信设备之间的物理连接，也可称为信道。物理电路分成两大类：

- ▶ 专用物理电路；
- ▶ 共用物理电路。

专用物理电路是指计算机及其连接的设备使用的专用连接介质，如图 5.1 所示。

共用物理电路是指多个设备共享同一物理介质。对共享介质的访问依赖于所使用的访问协议（例如令牌环网或以太网）。共用物理电路又叫作总线，如图 5.2 所示。

在电路交换方式中，当一方要发送信息时，由源交换机根据信息目的地址把线路接到目的交换机，经局间中继线传送给被叫交换局，并最终转给被叫用户。线路接通后，就形成一条端

对端的信息通路完成通信。



图 5.1 专用物理电路

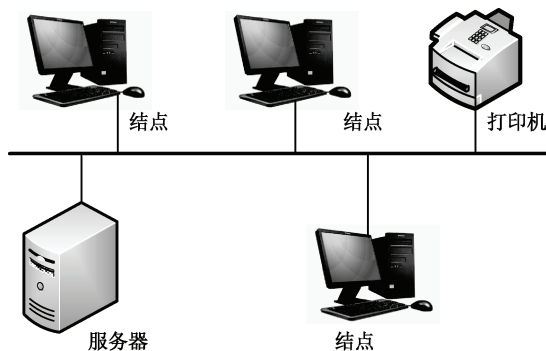


图 5.2 共用物理电路

虚电路交换

所谓虚电路，就是两个用户端设备在发送和接收数据之前，通过网络建立的逻辑链路。虚电路使用的逻辑连接是在两个结点对等层通信协议之间建立的一种连接，它是像单一电路一样的通信路径，尽管其中源结点和目的结点之间的数据可能采取不同路径。虚电路的概念来源于 X.25（国际电信联盟标准化部，即 ITU-T）的一个包交换协议。图 5.3 所示描述了这一概念。

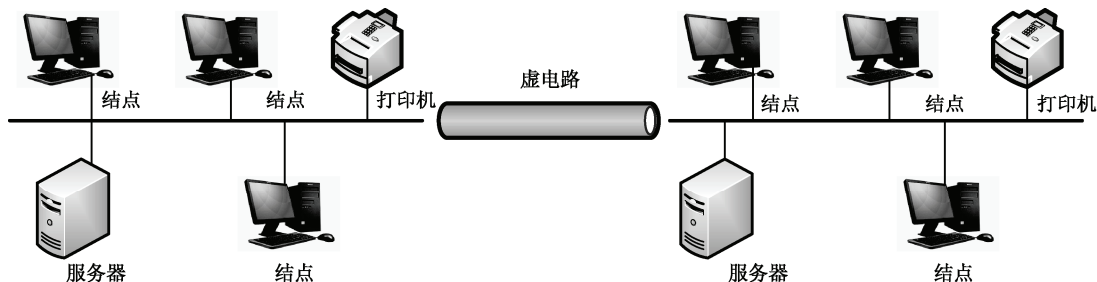


图 5.3 虚电路

虚电路可分成永久虚电路（PVC）和交换虚电路（SVC）两种类型：

- PVC 是通信双方设备间建立起的永久性虚电路，是源端点到目的端点之间的专用电

路。被激活时，PVC 就将在这两个端点之间建立一条路径。PVC 适用于数据传送频繁的网络环境，对带宽的利用率较高。

- ▶ SVC 类似于公用交换电话服务，可以在源端点和网络中的任意目的端点之间建立呼叫。SVC 是一种按照需求动态建立的虚拟电路,数据传送结束时电路将被自动终止。由于在电路创建和终止阶段协议占用较多的网络带宽，适用于非经常性的数据传送业务。

PVC 和 SVC

在网络之间使用 PVC 还是 SVC，要由通信流量、通信模式、连接程度、应用类型和其他参数决定。表 5.1 给出了这两种虚电路之间的一些区别。网络也可以混合使用 PVC 和 SVC。

表 5.1 PVC 和 SVC

永久虚电路（PVC）	交换虚电路（SVC）
配置时静态定义	当需要发送信息时，动态建立
不论是否有信息要发送，连接总是存在	当不再有信息要发送时，释放连接

PVC 和 SVC 之间的主要差别在于何时建立连接和分配资源。PVC 通常是由网络经营者提供的，不管该经营者是通信公司（公用服务）还是管理信息系统（MIS）成员（专用网）。一旦提供了 PVC，其连接在任何时候都有效，除非服务发生变化或者出现故障。另一方面，SVC 是由终端用户而不是由网络经营者建立的。在每次使用前，一条到目的终端用户的 SVC 就被建立起来，但每次用完之后其连接就被释放。

SVC 的应用对具有以下特征的网络来说是理想的：

- ▶ 高度网状连接；
- ▶ 间歇性应用；
- ▶ 远程站点访问。

高度网状连接是指需要在任意点之间建立连接的大型网络。在一个需要与许多站点连接的网络环境中，SVC 提供了一种最佳的解决方案。SVC 的优势随着站点数量与连接需要程度的增加而扩大。随着越来越多的公司采用 Intranet，网状网络越来越普及。可以想象，所有的终端用户在机构中将会有他们自己的网页，而这将增加公司内部的对等通信数据流量。另外，网状网络能为偶然的由公司内部到厂商、合作伙伴甚至顾客的连接提供经济的解决方案，只要他们都预订相同的服务。

具有高度间歇应用的网络经常拥有不可预测且持续时间很短的突发通信流量。SVC 只在要传送消息时才会占用网络带宽，所以它是持续时间很短的一种解决方案。

开始时，由于通信数据流量很小而且使用是间歇性的，一些小型局和远程交换局可能不会耗费资金来给所有需要连接的站点建立 PVC。因此这些站点可能最初使用 SVC，但随着通信流量的增加，将慢慢过渡到 PVC。也可实行 PVC/SVC 混合解决方案，即在需要频繁交换信息的站点之间建立 PVC，而在偶尔需要进行通信的站点之间建立 SVC。

SVC 信息传输

如图 5.4 所示, 通过 SVC 进行的信息传输由以下 3 个主要步骤构成:

- ▶ 呼叫建立;
- ▶ 数据传输;
- ▶ 呼叫释放。

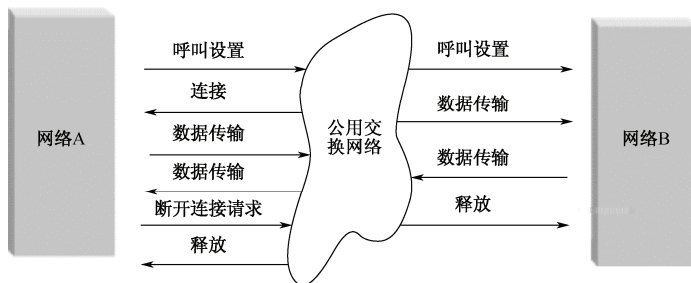


图 5.4 SVC 信息传输

需要通过 SVC 传输信息时, 先向目的网络发送一条设置消息。设置阶段完成并建立连接后, 就可以通过网络来传输信息了。

呼叫释放阶段由源结点发送给目的结点的断开连接消息构成。其间两个网络都释放网络连接, 之后它们之间的电路不再存在。

包交换

包交换采用存储转发交换方式, 即首先把来自用户的信息暂存于存储装置中, 并划分为多个一定长度的分组包, 每个分组包前面都加上固定格式的包头, 用于指明该分组包的转发地址、接收地址及分组包序号等。分组包作为存储转发的单位在各交换结点之间灵活传送, 把数据包分组, 短分组包在传输过程中比长分组包可减少差错的产生和传输延迟, 提高传输的可靠性。

包交换也是广域网上经常使用的交换技术, 在电信网络上, 通过包交换, 信源和信宿网络设备之间可以共享一条点对点链路, 进行数据包的传递。点到点链路提供的是一条预先建立的从客户端经过电信网络到达远端目的网络的广域网通信路径。

一条点到点链路就是一条租用的专线, 可以在数据收发双方之间建立起永久性的固定连接, 如图 5.5 所示。包交换主要采用统计复用技术在多台设备之间实现电路共享, 如帧中继、X.25 等都是采用包交换技术的广域网技术。



图 5.5 包交换中建立的点到点链路

光交换

光交换是指对通过光纤传送的信号进行信息交换的方式。光交换技术在安装过程中不需要经过任何光/电转换设备，在光域中直接将输入光信号通过光纤交换到不同的输出端。与数字程控交换技术相比，光交换无须在光纤传输线路和交换机之间进行光/电和电/光转换，而且在交换过程中，还能充分发挥光信号的高速、宽带和无电磁感应的优点。

光纤传输技术与光交换技术融合在一起，可以使光交换技术成为通信网络交换技术的一个发展方向。光交换技术的交换方式可分为空分光交换（SDDS）、时分光交换（TDPS）、波分光交换（WDPS）、复全型光交换和自由空间交换（FSPS）5 种方式。

练习

1. 试具体描述电路和虚电路。
2. 对于下面的每种情形，确定它是 PVC 还是 SVC。
 - a. PC 通过以太网局域网访问服务器
 - b. PC 通过令牌环局域网访问服务器
 - c. 浏览器通过 Internet 访问一个 Web 页
 - d. 调制解调器将用户连接到 Internet
 - e. 两个网络通过 T1 线路连接到一起
3. 画图表示 SVC 的信息传输过程。

补充练习

X.25 协议包交换网络如何工作？这些协议又是如何解释 SVC 的概念的？

第二节 广域网设备

广域网电路用于通过电信网络传输不同类型的信息。在广域网环境中可以使用多种不同的网络设备。本节主要介绍连接到广域网的各种设备及连接到广域网的电路。

学习目标

- ▶ 了解广域网环境中常用的网络设备；
- ▶ 了解当连接到广域网时，何时使用调制解调器，何时不使用调制解调器；
- ▶ 掌握数据通信设备（DCE）和数据终端设备（DTE）的概念。

关键知识点

- ▶ DCE 和 DTE 是常用的电信术语。

数据通信设备

传统的请求服务设备，其电信术语是数据通信设备（DCE），也可以称为“数据电路终接设备（DCE）”。DCE 可以包括以下项目：

- ▶ 调制解调器，如果传输信道是模拟信道（至少本地环路是模拟信道）；
- ▶ 数字编码设备，如果传输信道是数字信道。

目前，执行第 2 层或更高进程的设备通常是计算机，但也可以是终端或其他专用设备。在电信术语中，将这一类设备统称为数据终端设备（DTE）。图 5.6 描述了 DCE 和 DTE 这两种设备类型之间的差别。

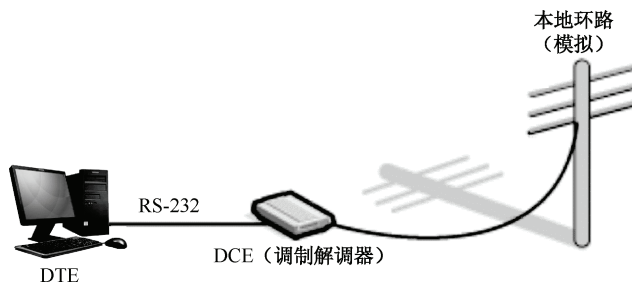


图 5.6 DCE 和 DTE

DTE/DCE 接口有很多不同的标准。其中两种重要的标准是电子工业协会(EIA)的 RS-232D 标准和宽带 ITU-T V.35 标准。这两种标准都是针对接口的物理层（机械和电气）特性及其程序上的特征的。DTE 和 DCE 之间的连接电缆都使用一种叫作 DB25 的 25 针接头（以及另外一种 9 针形式）。DTE 接口和 DCE 接口都位于开放式系统互连（OSI）模型的第 1 层。还要考虑另外一些协议：DTE 之间（通过 DCE 相连的）的协议和 DCE 自身之间的协议。

常用的广域网设备

广域网环境下，有多种不同的网络设备可供选择使用。

广域网交换机

广域网交换机是电信网络中使用的多端口网络互连设备。广域网交换机一般工作在 OSI 模型的数据链路层，可以对帧中继、X.25 等数据流量基础操作。

接入服务器

接入服务器是广域网拨入和拨出的汇聚点。

调制解调器

调制解调器主要用于数字和模拟信号之间的转换，从而能够通过电话线路传送数据信息。在发送方，计算机数字信号被转换成适合通过模拟通信设备传送的形式；在接收方模拟信号被还原成数字形式。

CSU/DSU

信道服务单元（CSU）/数据服务单元（DSU）类似数据终端设备到数据通信设备的复用器，具有信号再生、线路调节、误码纠正、信号管理、同步和电路测试等功能。

路由器

路由器提供诸如局域网互连、广域网接口等多种服务，它是互联网上使用的一种主要通信设备。

连接到广域网的电路

在大多数环境下，协议可以分成与局域网有关的协议和与广域网有关的协议。例如，通信可能发生在局域网中的一台计算机与另一个局域网中的一台计算机之间，并且使用 TCP/IP 协议栈。利用 T1 的帧中继等广域网协议，这些协议可以通过广域网传输。

如前所述，根据使用的协议不同，局域网之间使用的电路和连接类型可以是 PVC，也可以是 SVC。例如，如果希望将两个局域网连接起来，可能使用如图 5.7 所示的 PVC。此 PVC 可能是一个只执行物理层协议的数字电路（如 DDS 或 T1），且只提供点到点连接。

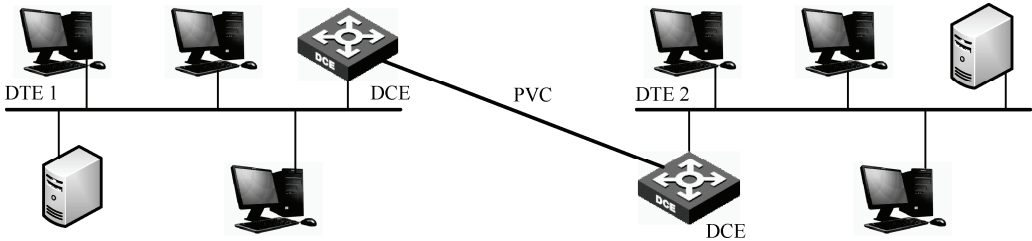


图 5.7 永久虚电路（PVC）

DTE 1 产生的信息可以通过 DCE 和 PVC 到达远端的 DCE。DCE 设备再通过局域网将信息传送给目的 DTE（DTE 2）。

图 5.8 所示给出了两个连接到 SVC 的 DTE 之间的连接。在该图中，3 个（或更多潜在的）局域网连接到提供交换连接的电信服务。如果 DTE 3 要向 DTE 4 发送数据，则将这两台设备连接到网络的 DCE 将首先在它们自己之间两两建立连接。虚电路建立之后，DTE 能够相互发

送信息。DTE 之间的通信完成后，虚电路就被终止了。

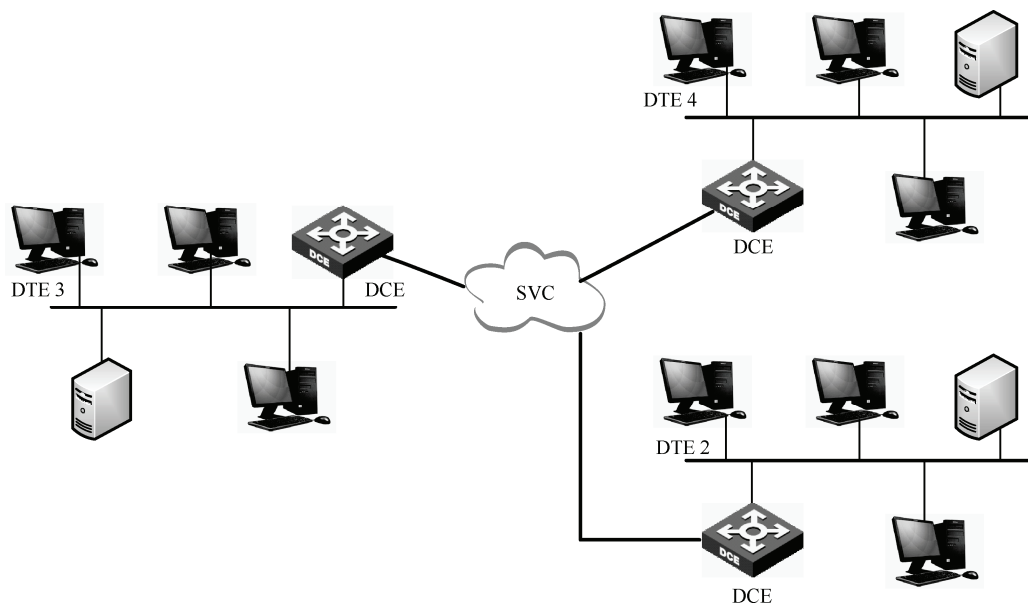


图 5.8 交换虚电路 (SVC)

应该注意，计算机很少被称为 DTE，但是在电信技术领域，DTE 依然广泛用来将接入广域网的设备归为一类。还要注意，DCE 未必一定是连接“线缆”网络的设备。这些设备能够通过其他方法（如微波和卫星技术）发送信息。

练习

1. 列出下面的连接所应用的接口：
 - a. PC 到外部调制解调器
 - b. 内部调制解调器连接到电话公司
 - c. 以太网网卡 (NIC) 到网络
 - d. 以太局域网到路由器
2. 使用 Web，研究其他 DTE 到 DCE 连接的物理层标准。研究中需要包括下列标准：
 - a. RS-422
 - b. RS-423
 - c. RS-449

补充练习

什么网络使用 PVC？与 SVC 相比，PVC 具有哪些优点？

第三节 连接到模拟网络

通过模拟网络发送信息时需要用调制解调器。本节介绍将计算机连接到模拟网络的有关概念和技术。

学习目标

- ▶ 掌握调制解调器的基本概念，了解调制解调器的基本组件；
- ▶ 了解目前网络中常用的调制解调器协议，且对于给定的链路速率，能够计算不同大小文件的传输时间；
- ▶ 了解位同步的重要性，能够区分同步和异步通信。

关键知识点

- ▶ 通过模拟网络发送信息时需要用调制解调器，它是连接到模拟网络的基本组件。

调制解调器

调制解调器（Modem）是调制器和解调器合在一起的总称。它是一种计算机硬件，能够把计算机的数字信号翻译成可沿普通电话线传送的脉冲信号，而这些脉冲信号又可被线路另一端的另一个调制解调器接收，并译成计算机可懂的语言。这一简单过程完成了两台计算机间的通信。

在讨论调制解调器时，常使用波特（Baud）、比特每秒（b/s）、字节和字符每秒（c/s）等术语。波特是按照 19 世纪的法国发明家 Baudot 的名字命名的，最初是指电报员发送莫尔斯电码的速度，后来表示信号每秒改变状态的次数。比特是可以用 1 或 0 表示的单个二进制数据单位，因此数据传输速率通常以比特/秒（b/s）来衡量，但是有时也用波特（Baud）来表示。虽然它们非常类似，但是不一样的。单位 b/s 表示的是数据信号速率，波特衡量的是调制速率。

虽然一个正常的字节（“字符”）包含 8 比特，但发送端串行端口的通用异步接收器/发送器（UART，发音为“u-art”）会添加异步数据串中需要的开始位和停止位，再由接收端 UART 将其删除。

基于以上信息， $(28000\text{b/s}) / (8 \text{ 比特每字符}) = 3500\text{c/s}$ 的速率也许是可能的。但是，额外开销会降低实际的吞吐速率。如果允许数据压缩而且数据是可压缩的，吞吐速率会更高。吞吐速率取决于数据的可压缩度、线路质量和其他因素。如果从因特网上下载，要知道所连接的服务器可能同时为很多客户服务，而所分得的“时间片”可能会导致只能以更低的速率提供数据。由于频繁开始和结束（或者当连接到繁忙的网络时），不难发现，28.8kb/s 的调制解调器无法达到其峰值速度——等待的时间比工作时间还要长。

调制解调器的类型

调制解调器是数据通信网络的基本组件,因为它使数字设备之间能通过公用电话网或专用电话网(其中包括部分模拟设备)进行通信。一般来说,根据调制解调器的形态和安装方式,大致可以分为以下四类,如图 5.9 所示。

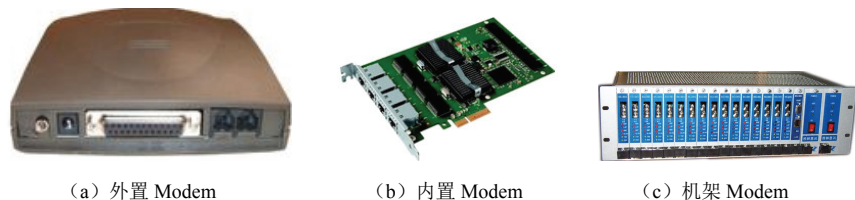


图 5.9 调制解调器类型

- ▶ 外置调制解调器——外置 Modem 通常独立安装在自己的机壳内(或者以商用版形式安装在支架上),并通过串行电缆方式连接到 PC 后面的一个串行端口上。这种 Modem 方便灵巧、易于安装,闪烁的指示灯便于监视 Modem 的工作状况。但外置 Modem 需要使用额外的电源与电缆。
- ▶ 内置调制解调器——内置 Modem 位于插入 PC 总线的一块卡上。在安装时需要拆开机箱,并且要对终端和 COM 口进行设置。内置 Modem 卡上带有自己的串行端口,并使用 PC 电源。
- ▶ PCMCIA 插卡 Modem——插卡 Modem 主要用于便携式计算机,体积纤巧。配合移动电话,可方便地实现移动办公。
- ▶ 机架调制解调器——机架 Modem 相当于把一组 Modem 集中于一个箱体或外壳里,并由统一的电源进行供电。机架式 Modem 主要用于 Internet/Intranet、电信局、校园网、金融机构等网络的中心机房。

每种调制解调器都有自己的优点。例如,内置 Modem 没有机壳和电源,通常比较便宜。由于安装在计算机内,占用的桌面空间少;而外置 Modem 通常带有指示灯面板、发光二极管或者液晶显示面板,显示有关当前进程的信息,帮助诊断和解决问题。

UART

串行设备(如串行调制解调器)使用 UART 接口芯片与 PC 进行通信。外置 Modem 通过一条串行电缆连接到一个基于 UART 的 PC 串行端口,再连接到 PC;内置 Modem 自带基于 UART 的串行端口。实际上,UART 将来自计算机的并行数据转换成串行数据流,或者反向转换。

RS-232

RS-232 定义了计算机与调制解调器之间的接口。RS-232 术语通常指一个标准系列，这个标准系列是 EIA、ITU-T 和国际标准化组织（ISO）制订的，提供了计算机和外部世界（特别是电话网络）的接口。（现在这个基本标准的正式名称是 EIA-232，但仍然常用 RS-232 这个名称。）这些标准为数据传输速率（如 19200b/s）定义了串行端口（计算机每次只发送 1 位）。图 5.10 所示给出了 RS-232 电缆接头的针分布。

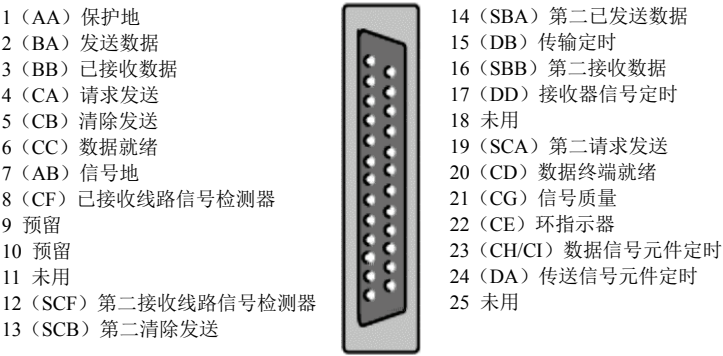


图 5.10 RS-232 电缆接头的针分布

从 DTE 到 DTE 通信中有一个常见的特例。在两个 DTE 的物理位置很接近时，比如，同一房间内的两台计算机相连时，有必要使用两个调制解调器吗？能不能用 RS-232 和 EIA-530 电缆把它们简单地连接在一起呢？实际上，普通的电缆不能实现这种功能，但只要把电缆中的某些线路简单地交叉在一起，就能够用电缆把 DTE 连接起来。这种电缆叫作假调制解调器（Null Modem）。图 5.11 显示了这一概念。

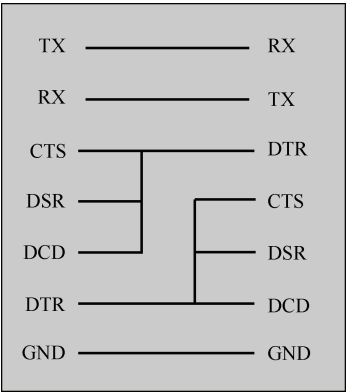


图 5.11 假调制解调器

调制解调器信号

尽管市场上有许多类型的调制解调器，但它们都必须含下列通用组件：电源、发送器和接收器。电源通常采用 110 V 或 220 V 交流电（AC），并将其转化成调制解调器内部电路可用的直流（DC）电压。发送器把数字信号调制成模拟形式。接收器将模拟信号解调为原来的数字格式，如图 5.12 所示。

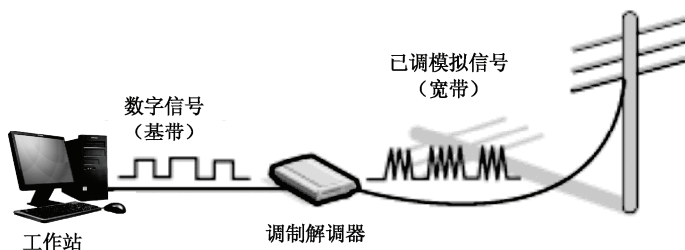


图 5.12 调制

为异步操作和同步操作设计的调制解调器，它们之间的一个主要区别在于：同步调制解调器包含一个时钟源和定相电路，而异步调制解调器没有。异步调制解调器不需要时钟源，是因为数据是以不固定的时间间隔传输的。这些调制解调器在每个字符上实现同步。在同步传输中，数据以固定的时间间隔连续发送。

调制与解调

调制，就是把数字信号转换成电话线上传输的模拟信号；解调，就是把模拟信号转换成数字信号。

调制解调器协议

在通信信道两端的 DCE 必须使用相同的协议。在现有的多种协议中，有些是为通过模拟连接（调制解调器之间）的通信而定义的。任何调制解调器之间的通信协议都定义了：

- ▶ 连接的电气性能，它决定了调制解调器交换数据的最大比特速率；
- ▶ 调制解调器怎样均衡，也就是怎样建立一个同步的电压参考标准；
- ▶ 它们工作在异步（开始-停止）模式、同步模式还是两者均可；
- ▶ 它们工作在全双工还是半双工模式。

租用线路通常是四线线路，尽管有时也可能租用二线线路。半双工是指用一对线路传输其中一个方向的信号，用另一对线路传输另一个方向的信号，但是两个方向不能同时传输。半双工比用单对线路传输两个方向的数据要快，因为在数据传输方向改变时，调制解调器不用等待线路“改变”方向。

全双工指两个方向的数据可以同时传输，每个方向都有一对线路。原则上，全双工允许两个方向的数据同时传输。实际应用中，全双工传输的主要优点是，当一条信息向一个方向传输时，先前已传送的信息的“确认”信息就能从反方向传回发送方。

在单对线路上，也能实现全双工，这时采用的技术类似于 FDM 方式，不同方向的传输使用不同的载波频率。

调制

调制是将数字信息转换成模拟信息的过程，而解调是将模拟信息转换回数字信息的过程。由于部分公用电话网络可以传输模拟信号，所以必须通过一个叫作调制的过程将数字信号转换成模拟信号。调制改变了载波（电信号）的形式，使其能够通过某些类别的通信介质传输有用信息。将数字计算机信号（基带）转换成模拟信号，通过模拟设备（如本地环路）进行传输。将模拟信号转换回原来的数字信号，这个逆过程叫作解调。如图 5.13 所示，有 3 种基本的调制技术：

- ▶ 调频 (FM)；
- ▶ 调幅 (AM)；
- ▶ 调相 (PM)。

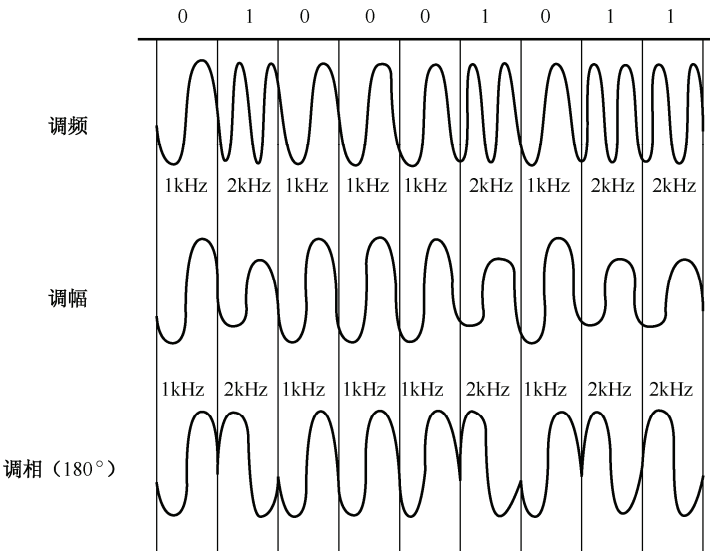


图 5.13 调制技术

调频 最常见的调频 (FM) 是移频键控 (FSK)，这是 AT&T 103 和 113 系列调制解调器使用的一种 2 电平的技术。FSK 调制表示通过改变音频音调频率来改变二进制位模式。当线路空闲时，假设其处于稳定的二进制 1 或“标记”状态，用音调的一个频率表示。当发送数据位 0 时，调制解调器切换到另外一种音调频率，在发送数据时产生独特的像音乐的声音效果。

FSK 调制在速率较低时工作良好,不过随着数字信号速率的增加,分配给频率转换的时间会减少,产生和检测音频的变化就很困难。

调幅 调幅(AM)是最简单的调制技术,它只产生单一的载频信号。如果所产生的波形的振幅很高,就表示二进制的 1;如果振幅很低,就表示二进制的 0。AM 对线路干扰非常敏感。正交调幅(QAM)是一种调幅与调相组合的技术,本质上是一种四相技术。这种方法使用相同频率的两个信号,不过相互之间有 90° 的相差,使得波形 A 的最高幅度点与波形 B 的最高幅度点相差 90° 。这些信号组合成为一路进行传输,称之为 16QAM。

每个发送线路可以有 4 个可能的振幅电平(A1、A2、A3 和 A4),与传输波形的 4 个不同相位(如 45° 、 135° 、 225° 和 315°)进行不同组合。将这两个信号组合在一起,可以产生 16 种不同的情况,每一种情况表示 4 比特信息。

通过在每个角度上设置 8 个可能的振幅电平,也可以表示 32 种不同情况(32QAM),以产生两倍的信息。

调相(PM) 移相键控(PSK)使用信号中相位的变化或它与固定参考相位的定时关系来表示二进制位模式中的变化。参考振荡器决定了输入信号的相角的变化,也就决定了要传送哪一位或哪两位。差分移相键控(DPSK)把输入信号的相位角度和先前收到的信号码元进行比较。相位没有变化就表示二进制的 0。这种方法不需要独立的参考相位,因此采用这种方法可以减少调制解调器中线路的数量。PSK 用在许多中速调制解调器中,而在一些高速应用中,它同 AM 相结合,形成 QAM。QAM 技术可以使速率达到 9 600 b/s 或更高。

调制解调器的运行

调制解调器通常能够运行在几种不同的速率下。用户可以通过软件命令方式或改变组件、线路或开关设置来调整运行速率。调制解调器的低效运行速率是指它检测线路不良情况和降低传输速率来防止差错的能力。例如,一个运行速率为 28.8 kb/s 的调制解调器,当线路情况恶化时,其速率可能降低到 9.6 kb/s 或 4.8 kb/s。

V.32bis 标准提供了一种可选的向下功能。这允许调制解调器主动查询线路,并在确定情况好转时,重新把调制解调器设置到所允许的最高速率。这是一个很有价值的特性,因为在传输一个特别长的文件时线路如果发生一点小的故障,就会把本来 30 分钟的通话变成耗费 3 小时的数据传输。有了向下功能,调制解调器可能只有几分钟处于低速传输。

有限距离调制解调器通常可以通过专用线路在局域网范围内提供高数据速率。当数据速率增加时,传输的有效距离会降低,有时甚至是急剧降低。

在理想电话线路条件下,28.8 kb/s 调制解调器以 28 800 b/s 传输数据。通过数据压缩技术,可压缩文件的传输速率可达到以上吞吐量的两倍或更高。

28.8 kb/s 调制解调器“标准”是 V.FC 和 V.34。V.FC 协议是一个暂时协议,是由 Rockwell 开发的,该标准的建立是在 V.34 之前。V.34 是一个更有生命力的协议,而且大多数新的 28.8 kb/s 调制解调器都符合 V.34 标准(或者 V.34 和 V.FC 都符合,向下兼容)。

28.8 kb/s 调制解调器利用了现有电话系统的几乎全部带宽。实际上，已经超出了“额定”带宽——就是说，28.8 kb/s 正在突破现有模拟电话系统的速率限制。一些高端调制解调器已经开发出来，它们对 1994 年的 V.34 标准进行了扩展，可以支持高达 33.6 kb/s 的速率（AT&T，USR Courier）。但限于现有的电话线路状况，那些拥有这种新的调制解调器的用户无法获得调制解调器本身所提供的那么大的速率。目前常用的调制解调器运行速率是 56 kb/s，但是要想达到这么高的速率，还要有适合于它的特殊环境。

由于模拟波形是连续的，而二进制数字是离散的，通过本地环路发送并在另一端重建的数字只是近似于原来的模拟波形。原波形和重建的数字化波形之间的差别叫作数字化噪声，它限制了调制解调器的速率。

数字化噪声将 V.34 通信信道限制在 35 kb/s 左右。但是数字化噪声只影响模/数转换，而不影响数/模转换。这正是 V.90 的关键：如果在 V.90 数字调制解调器和本地环路之间没有模/数转换，而且如果此数字连接发送器只使用电话网络数字部分的 255 个离散信号电平，那么精确的数字信息可以到达模拟调制解调器的接收器，并且在转换过程中没有信息损失。

下面是其工作过程：

- ▶ 服务器有效地以数字方式连接到电话公司的干线。
- ▶ 服务器发出信号，其编码进程只用电话网络的数字部分中使用的 256 个 PCM 代码。换句话说，没有与模拟信号转换为离散值 PCM 代码有关的量化噪声。
- ▶ PCM 代码被转换成相应的离散模拟电压，并通过模拟环路发送给模拟调制解调器而不会损失信息。
- ▶ 客户机接收器根据接收到的模拟信号重建离散网络 PCM 代码，对发送器发送的内容进行解码。

数据是以二进制数形式通过本地环路从 V.90 调制解调器发送的。如果这些条件存在，通过本地环路就可以获得 56 kb/s 的速率。

调制解调器的同步

要进行通信，调制解调器必须同步。这种同步使得通过通信电路传输的每个独立比特都能被正确地接收。广域网既使用同步通信，也使用异步通信。

时序就是一切

为了确保有顺序的数据流可以顺利通过通信设备，在构成消息的数据位之间必须建立一种叫作同步的时间关系。两种同步的基本形式是同步和异步。通过调制解调器进行的 PC 到 PC 的传输通常是异步模式。同步模式用于 PC 或终端与主机之间的通信。

异步操作意味着数据位不按照严格的时序发送，如图 5.14 所示。每个字符的开头都是通过传输一个起始位的方式显示出来的。发送完字符的最后一位后，发送一个停止位表示字符发送结束。调制解调器只能在用来传输 8 位的时间长度范围之内保持同步状态。如果它们的时钟

只存在微小的不同步现象，那么仍然能够成功地进行数据传送。

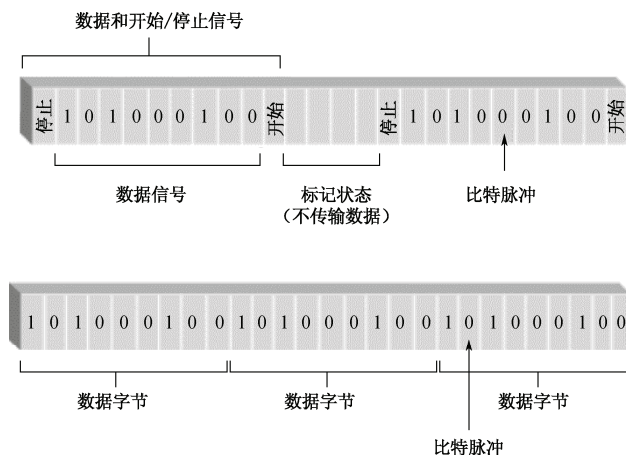


图 5.14 异步和同步传输

同步操作则恰恰相反：调制解调器必须首先对其内部时钟电路进行严格同步，这通常是在建立连接之后通过发送固定长度的突发位来实现的。如果要传输数据，发送调制解调器不时地向线路发送一个 1 或 0。接收调制解调器按照相同时序对线路上的信号采样，将线路状态（1 或 0）发送给 DTE。调制解调器必须保持同步才能进行通信。

数据压缩与差错控制

数据压缩是消除重复的字符和字符组中重复出现的代码的一种技术，可以明显地改善数据传输率。大多数高速调制解调器都满足国际电话电报咨询委员会（CCITT）V.42bis 的要求，可以提供 4:1 的压缩比。因而，带有 V.42bis 的 14.4 kb/s 的调制解调器的最大速率可以达到 57.6 kb/s。这些协议无法进一步压缩那些通过 PKZip 等压缩程序压缩过的文件。此外，2:1 和 4:1 的压缩比只是理论值。例如，根据数据类型和电话线路条件的不同，V.42bis 通常产生介于 2:1 和 3:1 的压缩比。

数据传输的主要问题之一是变化不定的模拟语音级电话线的质量。除了模拟线路的一般限制以外，瞬时噪音、谐波失真、相位抖动以及其他信号干扰都会导致比特流出错。目前解决这些问题的办法包括进行昂贵的线路调整和（或）选择具有高级线路均衡功能的调制解调器。前向纠错（FEC）技术使处理器能够在传输之前通过一系列复杂算法计算比特流，这样就在原始数据块中添加额外的位，形成了重新编排的比特序列。在通信电路的接收端，另外一个处理器对此比特流进行解码。发送端插入的位可以确定数据块的接收是否正确，并且可以纠正任何错误接收的数据块。进行这些调整时，都不需要重发原始数据的任何部分。

为了满足微型计算机拨号链路使用的增长需求，引入了纠错协议，以确保文件传输数据的完整性。在线信息服务、电子邮件设备和分组网络都需要不同的协议。而且，PC 到主机的链

路具有自己的协议规范。没有哪个协议能够满足所有通信的需要，但用户可以有几种选择。一些设备通过应用能实现纠错的调制解调器来解决协议兼容性问题，它允许主机在不影响主机软件或通信端口的前提下与各种基于 ASCII 码的系统进行通信。

调制解调器的兼容性

“握手”是指两台或更多计算机在能够进行通信之前需要经历的初始化过程。在所有的数据通信协议中，通信双方首先就要进行握手，在建立连接的通信设备之间互换控制信号。设置、传输和终止呼叫所需的信号在标准中都有规定。为了进行握手，调制解调器之间必须是兼容的。在同一网络中，混用不同供应商的调制解调器是很常见的，这是因为数据网络往往是分阶段实施的，使用的设备随着时间的推移而发生变化。当发生机构变化时，最早提供网络调制解调器的供应商可能已经不再生产这种设备了。另外，在没有中央网络管理的单位中，几个个体可能为同一个网络分别购买设备。由于网络中的大多数设备都会由于寿命终止或出现故障而被更换，毫无疑问，用户可能会更换供应商。数据通信既存在地域上的距离，又包括公司间距离，这可能导致通信设备的职能分工和对通信设备施加不同的限制。

AT&T 兼容性 就像传统上主机通信和设备标准由 IBM 建立一样，通过调制解调器通信的标准已由 AT&T 建立。虽然这种情形正在改变，但是很多早期的 AT&T 调制解调器（通常叫作 Bell 系统调制解调器）仍然是众所周知、广泛应用的，并常常被其他制造商复制。即使是由不同的制造商制造的调制解调器，只要都与某个 AT&T 调制解调器规范兼容，就有可能相互兼容。AT&T 兼容的调制解调器的制造商倾向于用各种有用的功能来修饰原来的 AT&T 规范，以使自己的产品有别于其竞争者的产品。

调制解调器之间的兼容性在很大程度上取决于其调制技术符合 AT&T 规范的程度。得益于改进 AT&T 标准的供应商，可能将规范修改得与原来的 AT&T 产品不兼容。在大多数情况下，不必怀疑制造商声称的 AT&T 兼容性。

CCITT 兼容性 许多拨号调制解调器和专用线路调制解调器都遵守 CCITT 标准，如早期的 14.4 kb/s 传输的 V.32bis 标准。CCITT V 系列调制解调器规范要求更新、更快的调制解调器对其早期产品向下兼容。

由于各大陆之间的信令约定和设备不同，若原来为欧洲设备设计的调制解调器用于北美网络中，此时可能就会产生兼容性问题。例如，由于为美国制造的 V.22bis 调制解调器能够容许在建立呼叫时遇到的小差异，因此它通常能对欧洲 V.22bis 调制解调器发起呼叫；但如果欧洲调制解调器发起相同的呼叫，此时就无法完成。

Hayes 兼容性 微型计算机调制解调器固有的另外一种兼容性涉及到 Hayes AT 命令结构。Hayes 兼容性主要与调制解调器命令、调制解调器响应和提供与各种通信程序兼容的设置的能力有关。Hayes 兼容产品带有可以监听呼叫进程的扬声器和外置单元上的前面板状态指示灯，且具有异步操作的自动拨号、自动应答、手动拨号和手动应答等功能。

练习

1. 用假调制解调器电缆连接两台计算机，并传送一份文件。
2. PAM 调制方式是 AM 与 PM 的组合。判断对错。
3. 列出并描述调制解调器协议。
4. 描述半双工、全双工及其与二线/四线线路之间的关系。
5. 简要描述 16QAM。
6. 在通信中开始位和停止位的作用是什么？
7. 哪种类型的通信需要时钟？
8. 什么是前向纠错 FEC？
9. 同步传输与异步传输，哪一种更有效？
10. 在异步网络中用一个奇偶位来进行初步的差错校验。如果是偶校验，校验位将使字节中的 1 的个数加上校验位后构成一个偶数。如果是奇校验，则校验位加上字符中的 1 的个数将是一个奇数。如果传输以下字节，而且是奇校验，如何设置其中的校验位（0 还是 1）？
 - a. 11001011
 - b. 10101010
 - c. 00011010
 - d. 11111111
11. 填写下表中以不同链路速率传输特定文件的时间长度，并计算每个传输的额外开销是多少。

文件大小（8 位字符）	传输速率	每个字符的开销/比特	开销/%	占用时间/s
20 KB	28 kb/s	2		
20 KB	56 kb/s	2		
500 KB	28 kb/s	3		
500 KB	56 kb/s	3		
1 MB	56 kb/s	2		
1 MB	128 kb/s	2		
10 MB	56 kb/s	2		
10 MB	128 kb/s	2		

12. 填写下表中通过不同链路速度和以不同的压缩率传输特定文件需要的时间。

文件大小（8 位字符）	传输速率	压缩百分比	占用时间
20 KB	56 kb/s	0	
20 KB	56 kb/s	30	
500 KB	128 kb/s	20	
500 KB	128 kb/s	40	
1 MB	256 kb/s	30	
1 MB	256 kb/s	50	
10 MB	256 kb/s	30	
10 MB	256 kb/s	70	

补充练习

1. 浏览网址 <http://www.3com.com/technology>，阅读标题为“3com V.90 Technology”的白页，准备在课堂上讨论。
2. 浏览网址：<http://www.nufusion.com>，找出 V.90 与 V.92 的相关内容。它们在实现方式上有什么不同？V.92 与 V.90 相比有哪些改进？为什么服务提供商和电信运营商更愿意使用 V.92？
3. 使用调制解调器仿真电缆和 Windows XP 拨号上网功能在两台 PC 或一台 PC 和一台笔记本计算机之间传输一份文件。确定文件传输的速率。然后，将文件压缩后再次进行传输。比较两次的结果。

第四节 连接到数字网络

当连接到模拟网络时，采用调制解调器将数字脉冲转换成模拟波形。但广域网可能由能够传输数字信息的物理电路构成。本节介绍连接到数字网络的方法。

学习目标

- ▶ 了解在广域网连接中何时使用信道服务单元（CSU）和数据服务单元（DSU）。

关键知识点

- ▶ 数据可以以数字格式在广域网中从信源传输到信宿。

DTE和信道服务单元接口

数字服务的本地环路通常终止于用户楼中的一个信道服务单元（CSU），如图 5.15 所示。CSU 实际上是在本地环路（也就是电话信道）上产生传输信号的设备。DTE 与 CSU 的连接有几种方法，包括：

- ▶ 通过数据服务单元（DSU）——当用户第一次获得数字服务时，电话公司不允许用户直接连接到本地环路上，因此 CSU 是由电话公司提供的。DSU 则是由用户自己提供的。现在 CSU 和 DSU 被结合成了一种单一的设备（DSU/CSU），通常由用户拥有。
- ▶ 通过多路复用器。
- ▶ 通过作为 PBX 一部分的信道组——CSU 经常被内置于 PBX 中。

值得注意的是，就许多数据连网设备而言，DSU/CSU 常常用作实际设备的一部分，而不是作为一个独立的组件。带有可连接到 T1 线路上的广域网端口的路由器，就是这样一种设备。

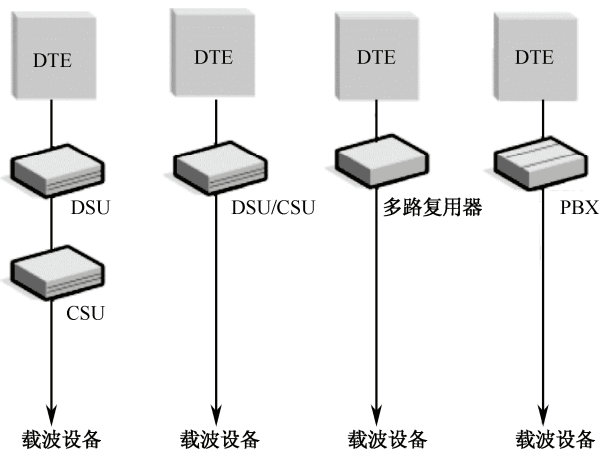


图 5.15 DSU/CSU

数据电话数字服务

数据电话数字服务（DDS）为用户提供了跨越世界数字网络的访问。其用户使用部分或全部的 DS-0 信道。提供的 DDS 服务有：

- ▶ 2400 b/s 租用线路；
- ▶ 4800 b/s 租用线路；
- ▶ 9600 b/s 租用线路；
- ▶ 19.2 kb/s 租用线路；
- ▶ 56.0 kb/s 租用线路；
- ▶ 56.0 kb/s 交换线路。

用户必须通过一个 DSU/CSU 连接到 DDS 设备。本地环路运行的比特率是由用户选择的服务决定的。但是从端局以后，电话公司把本地环路同其他的 DDS 线路和 T-Carrier 上的语音信道多路复用在一起。这包括将多条 DDS 线路多路复用到单一 64 kb/s DS-0 信道。

任何运行速率比 0 级数字信号（DS-0）（64 kb/s）低的设备都叫作亚速率设备。AT&T 的数据电话数字服务（DDS）和 British Telecom 的 Kilo Stream 都是亚速率设备。DDS II 的运行速率和方式同 DDS 一样，并能给每个基本的亚速率信道提供一条诊断信道。DSU/CSU 设备的用户可以利用这条诊断信道来执行无损检测和网络管理功能。用户可以把多种亚速率设备多路复用成单一的 DS-0，称之为亚速率多路复用。

练习

1. 试比较调制解调器与 CSU/DSU 的异同。
2. 电信运营商可以提供什么数字业务？

补充练习

登录下列网站，根据所提供的链接，研究数字通信服务。

<http://www.fcc.gov/mmb/asd/bickel/foreign.html>

第五节 卫星通信

卫星系统常常用于广域信息交换，特别是国家与国家之间的通信。

学习目标

- ▶ 了解卫星系统的主要功能；
- ▶ 掌握卫星系统中常用设备的名称。

关键知识点

- ▶ 卫星主要用于电视、数据通信和科学研究。

连接到卫星

卫星是一种通信传输设备，接收来自地面站的信号，将其放大，并向能够看到该卫星且接收其发射的信号的所有地面站进行广播。卫星传输从单个地面站开始，经过卫星，终止于一个或多个地面站。卫星是活动的中继站，非常像地面微波通信中使用的中继站。图 5.16 给出了信号通过卫星传输的路径。

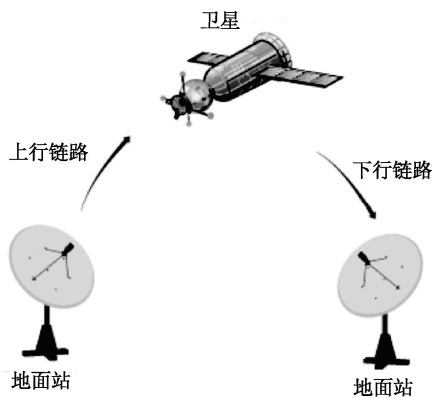


图 5.16 卫星信号路径

卫星包括如下 4 个基本功能：

- ▶ 接收来自地面站的信号；

- ▶ 改变接收到的信号（上行链路）的频率；
- ▶ 放大接收到的信号；
- ▶ 向一个或多个地面站重新发射信号（下行链路）。

卫星设备

卫星设备的功能类似于微波设备。卫星系统中常用的设备有：

- ▶ 多路复用器；
- ▶ 调制解调器；
- ▶ 发射器/接收器；
- ▶ 天线设备。

卫星频率范围

在卫星传输中使用 3 种频率范围，包括：

- ▶ C 波段——C 波段的上行链路频率为 6 GHz，下行链路频率为 4 GHz；
- ▶ Ku 波段——Ku 波段的上行链路频率为 14 GHz，下行链路频率为 11 GHz；
- ▶ Ka 波段——Ka 波段的上行链路频率为 30 GHz，下行链路频率为 20 GHz。由于 Ka 波段的频率范围较高，波长较短，所以用于这类系统的天线较小，也较便宜。

卫星的上行链路与下行链路频率不同是防止相对高功率发射信号干扰低功率接收信号。如果较强的发射信号与接收信号共用同一频率，强信号将覆盖弱信号从而破坏所携带信息。

卫星的特点

通信卫星具有不同于其他通信技术的特有属性。其中一些属性使得卫星对于某些特定的应用来说，更实际、更具有吸引力。卫星的优点包括：

- ▶ 大带宽——卫星信号的频率很高，能够承载大量的数据。
- ▶ 低差错率——在数字卫星信号中的比特错误几乎只是偶尔发生。因此，卫星系统用于检错和纠错，既有效又可靠。

卫星的某些缺点使其对于其他一些应用来说，不实用或不可用。这些缺点是：

- ▶ 信号延迟——从地面到地球同步轨道上的一个卫星之间的遥远距离，意味着任何一路信号在卫星链路上传输，都有一个固有的传输延迟，大约是 250 ms（1/4 s）。这种延迟在语音通信中能够感觉到，并使得使用数据通信协议的卫星效率极低，因而这些协议不适用于卫星链路。
- ▶ 地面站规模——由于在一些频带范围内，卫星信号功率较低，再加上信号必须跨越很远的距离，因此在地面接收站产生的信号极弱。这些因素将会使地面站的天线直径很

大，安装很复杂，除非在适当的位置使用新的、更大功率的卫星。

- ▶ 安全性——所有卫星信号都是以广播的形式传输的，因此，只有信号加密后，才有可能消除这种不安全性。一个卫星覆盖范围内的地面接收站只要适当地调整频率，就可以接收到这个卫星传输的任何信号。
- ▶ 干扰——Ku 波段或 Ka 波段的卫星信号很容易受坏天气的影响，特别是雨天和雾天。坏天气对 K 波段的干扰是偶发性的和不可预测的，它的持续时间是几分钟到几小时。而工作在 C 波段的卫星网络易受地球上的微波信号的干扰。地球微波对 C 波段的干扰限制了地面站在一些大的城市区域的设置，而这些大城市正是用户集中的地方。

卫星系统的上述利弊在很大程度上影响了专用网络对卫星系统的采用和选择。对卫星网络有需求的那些用户（例如，那些在地理上站点分散的网络和要求很大带宽的网络），将会对卫星通信比地面网络相对经济的特点感兴趣。

卫星和轨道

现在的商用通信卫星占用的是地球同步轨道，其轨道周期和地球表面某一点的周期是相等的。因此，卫星看起来像是在地球上方的一个固定点上。卫星距离赤道地面的距离为 35 800 km。卫星的运行速度是 11 070 km/h。

到同步轨道的距离是卫星通信的第一个主要限制。通过卫星链路进行传输的无线电信号的速度与光速一样（300 000 km/s）。在此速度下，一个信号从地面到达卫星或从卫星传回地面约需要 125 ms（1/8 s）。在使用卫星信道时，这 250 ms 的信号传输延迟是固有的，它相当于用地面链路传输信号延迟的几倍。

通信卫星带宽

卫星可以提供与其他传输介质一样大或者更大的带宽。想一想单个彩电频道就占用 6 MHz。最新的通信卫星上每个转发器（接收和重发信号的设备）可以提供 36 MHz 的带宽。一个典型的通信卫星带有 12 个或 24 个转发器，总带宽分别为 432 MHz 和 864 MHz。大多数卫星的每个 36 MHz 转发器只能容纳一个电视频道。这是由于 6 MHz 电视信号位于视频基带，用 18~27 MHz 的峰值频偏对传输载波进行频率调制。

卫星协议

卫星电路的特性对某些数据通信协议的效率甚至实用性影响很大。其中两个很重要的因素是卫星信道固有的 250 ms 传输延迟和信道上较高的噪声。在这两个因素中，传输延迟的影响更大一些。

“滑动窗口”协议（如 X.25）运行在多种数据块还未处理和确认的情况下，不终止发送方的发送。最好的卫星传输协议是位串行（bit-serial）协议，如高级数据链路控制（HDLC）协

议和 IBM 的同步数据链路控制 (SDLC) 协议。在这些协议中, 传输单元是一个可变的帧, 通常它们的长度很长。每帧都需要有从接收方发送过来的正确接收的确认信息。但是发送方可以持续地发送帧, 直到达到每个帧中包含的计数器的门限值。

这个计数器定义了一个帧窗口 (或模数), 它随着每帧的传输而增加, 代表了发送方在等待接收方传过来的确认前, 可以传输的帧的最大数目。这个最大数目等于窗口大小的值减去 1, 大多数滑动窗口使用的窗口大小为 8。一个三位窗口 (模数为 8) 的工作站可以连续发出 7 个未得到确认的数据帧。如果发送这些数据所需的时间少于卫星延迟时间的两倍 (或者 0.48s), 发送方就会控制数据流量, 信道上的有效数据速率就会降低。

在卫星通信中, 最实用的帧窗口长度是 7 位 (模数为 128)。使用这种窗口的站点可以在收到确认信息前连续发送 127 帧。随着模值的增加, 实际占用卫星信道传输的时间会同传输延迟成正比地增加。换句话说, 信道的利用率是随帧窗口的增加而增加的。

在高层协议 (例如 X.25 定义的分组协议) 中, 传输延迟有同样的效果。这样的协议有一个与底层协议的帧窗口类似的分组窗口。以分组层协议为例, 其延迟效应是相似的, 但延迟加倍, 因为高层分组可以包含大量的帧。

目前所有的数据通信协议都是通过重发被破坏的帧来解决传输中的错误的。这种技术一般称作自动重发请求 (ARQ)。通过 ARQ, 发送站会存储发送出去的每个帧, 直到该站点接收到从接收站发送回来的对该帧的肯定确认。如果它在预定的时间段内没有收到肯定确认, 它就自动重发该帧。有些协议只需要重发未确认的帧就可以了, 另一些协议则要求把未确认的帧和从发送出去到超过重发时限之前的所有帧都重发, 还有的协议要求重发包含有未被确认的帧的整个数据块。

由于存在卫星传输延迟, 有些协议的窗口在确认信息还未到达发送站之前就会出现超时错误。因此这种协议不能用于卫星信道。对任何 ARQ 协议来说, 等待确认的时间必须足够长, 以足够容纳在卫星信道上所需的双向传输延迟。

卫星信道的固有噪声的影响, 加重了 ARQ 协议的延迟问题, 这是因为每个传输过程都必须增加至少一个双向延迟, 在这段时间内, 电路必须保持空闲状态。如果只用 ARQ 技术处理错误, 则卫星电路的效率就会大大降低。因此, 为了减少重发的次数, 需要增加一级附加的错误保护。

幸运的是, 在卫星信道上出现的噪声仅仅是一种随机的“白”噪声。(在地面上的电缆和微波信道中, 大多数噪声是由传输数据过程中的偶然事件引起的。因此, 如果有一位数据受到破坏, 它周围的几位数据都有可能被相同的“线路干扰”破坏。) 在卫星信道中, 每一数据位出错的可能性同其他位出错的可能性是没有关系的。这种偶然性使得只要用统计的方式就可以很容易地纠正卫星传输错误。

大多数的卫星传输系统在前向纠错 (FEC) 中使用了一些统计技术。FEC 在移相键控 (PSK) 级和协议所需的帧编码或字符编码之间, 又增加了一级数据编码。这个附加的编码增加了数据流的冗余信息, 接收器可以在不需要重发的情况下就可以从该数据流中提取出原始数据, 哪怕是原始数据被噪声改变了。在使用 FEC 的情况下, 误码率可达 10^{-7} 。换句话说, 1 比特数据在接

收时发生错误的概率是一千万分之一。这种技术用于卫星数据传输已成为大势所趋，它将具有固有噪声的传输介质转变成利于数据传输的无噪声介质。

卫星应用

卫星可以用于各种通信领域，包括电视、电话、数据通信和科学研究等。在数据通信领域，卫星主要作为一种计算机与计算机之间通信的基本方式，或用作一种可选的备份设备。

练习

1. 列出组成卫星系统的主要设备。
2. 列出用于卫星系统的频率范围。
3. 列出并简要介绍卫星系统的主要优缺点。
4. 什么是地球同步轨道？
5. 列出卫星系统的四大主要功能。

补充练习

1. 浏览以下网址，讨论有关卫星方面的知识。
<http://quest.arc.nasa.gov/smores/teachers/micogravity/index.html>
2. 描述卫星如何应用于下面的领域：
 - a. Internet 接入
 - b. 电视
 - c. 无线电
 - d. 数据通信
 - e. 语音通信
3. 登录下列网站，研究国际卫星通信应用和标准。
<http://www.fcc.gov/mmb/asd/bickel/foreign.html>

第六节 广域网应用

前面讨论了关于广域网的许多技术，包括不同电路类型和使用电信设备连接到这些电路的各种方式。本节将介绍机构如何在单个网络中使用这些技术。

学习目标

- 初步掌握在广域网中使用的各种连接技术。

关键知识点

► 一个机构所使用的服务由应用需求确定。

连接网络的方式就像需要连接的应用一样多。一个机构在各种应用中使用很多不同的技术和服务。图 5.17 给出了常见的广域网应用以及满足特定应用要求的典型广域网连接。

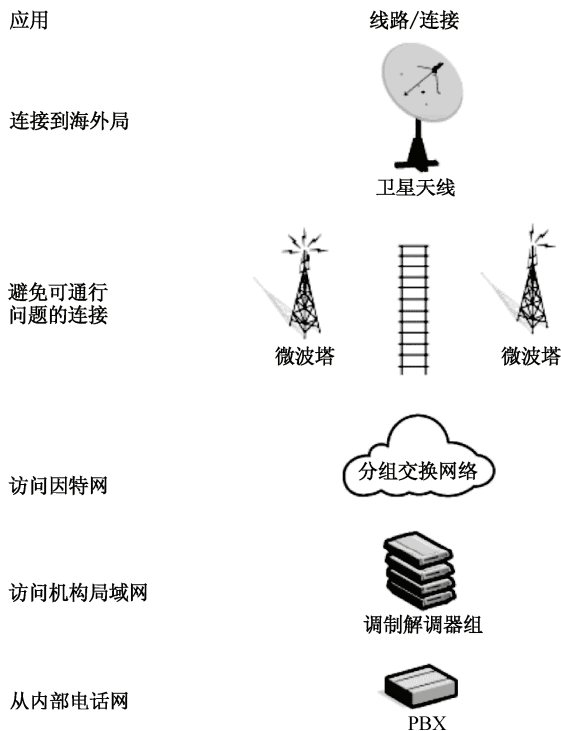


图 5.17 应用连接

例如，如果需要与非常远的端局（如国外的一个端局）进行通信，卫星链路可能是最好的选择。尽管卫星具有固有的传输延迟，但还是被广泛用于远距离的数据通信。卫星可以作为永久虚电路（PVC）或根据需要进行选择。

在城域网环境中通常使用微波技术，特别是在不可布线的情况下。例如，在路面下埋设线缆和在铁路轨道上方架设高架桥都非常昂贵。微波是典型的点到点 PVC。

大多数机构提供因特网访问。可以用 PVC 来连接到提供访问因特网主干网的服务提供商（ISP）。信息通过机构和 ISP 之间的这条固定路由进行传输。在 ISP 那里，信息将被发送给因特网主干网，再路由到目的结点。

一个机构可以使用调制解调器从外部访问内部资源。调制解调器组是允许旅行或在家工作的多个个体同时访问的设备。每次有人拨号进入网络时都要设置 SVC。

由于连接是各种各样的，每一种连接都依赖于机构的应用需求。一些应用使用永久电路效

果最好，而其他应用则需要交换电路的灵活性。

练习

1. 使用本节学习的至少两种广域网应用，画图将它们合并成一个网络。
2. 列出用于将家庭和公司连接到不同应用的各种连接方法。

补充练习

使用 Web 寻找关于下列产品的信息：

- a. 调制解调器组
- b. 用于数据通信的卫星天线

本章小结

本章介绍了连接到广域网的设备及方法。首先介绍了广域网交换技术，包括物理电路连接和逻辑电路连接之间的区别，还介绍了将 DTE 连接到 DCE 的不同物理接口。

调制解调器用于在网络的一端将数字信息转换为模拟信息，而在另一端再转换为数字信息。调制解调器之所以能够提供这种转换，是因为数字计算机必须通过占主导地位的模拟本地环路传输信息。当端点之间的通信信道支持数字信息的时候，也可以使用数字调制解调器。

卫星技术也被用来通过广域网传输信息。卫星主要用于在特别广的范围内进行通信，以及用于能够容许卫星技术固有的大传输延迟的应用。

小测验

1. 调制解调器用来（ ）。
 - a. 放大模拟信号
 - b. 将数字信号转换为模拟信号
 - c. 转发数字信号
 - d. 将模拟信号转换为数字信号
 - e. b 和 d 都对
2. 一个调制解调器规范的例子是（ ）。
 - a. T1
 - b. T3
 - c. EIA-232-D
 - d. V.90
3. Codec 是一种什么样的设备？（ ）
 - a. 将模拟信号转换成数字信号
 - b. 将数字信号转换为电信号
 - c. 在本地环路上放大数字信号
 - d. 将语音信号转换成数字信号
4. 下面哪个不是调制的例子？（ ）
 - a. 调频
 - b. 调幅
 - c. 模拟调制
 - d. 调相

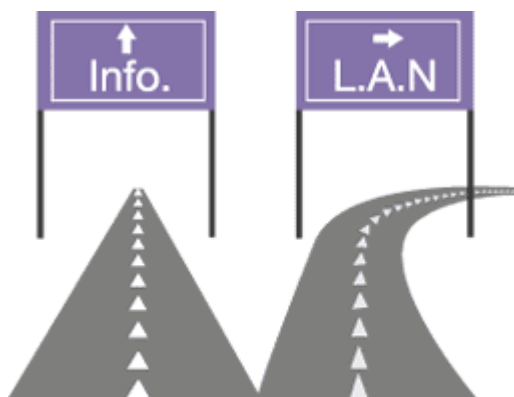
5. 采用卫星通信进行语音传输的一个缺点是 ()。
 - a. 发送设备与接收设备之间有传输延迟
 - b. 带宽窄
 - c. 差错率高
 - d. 设备情况不可预知
6. 什么是 DSU 和 CSU? 它们都是用来做什么的?
7. 什么是 Modem? 列出其两种接口的名字。
8. 指出在 Modem 中使用的两种调制技术。
9. 是什么限制了调制解调器的速率?
10. 是什么促进了对通信服务更大带宽的需求?
11. 在评估广域网连接选择方案时, 为什么 T1 仍然是一个流行的选择?
12. Codec 代表什么? 它的功能是什么? 其功能是如何实现的?
13. 同步和异步通信技术的区别是什么?
14. Hayes 兼容的含义是什么?
15. 卫星通信包含 4 个基本功能, 它们分别是什么?



第六章

物理层广域网协议

- 1 数据速率及相关应用
- 2 拨号线路和租用线路
- 3 SW56 技术
- 4 甚小口径终端 (VSAT)
- 5 T 载波
- 6 ADSL
- 7 线缆调制解调器
- 8 同步光纤网



概 述

长距离的数据传输需要使用各种不同的设备、物理介质及其相关协议,如拨号线路、租用线路、SW56、ADSL、线缆调制解调器、同步光纤网等。它们为在网络中传输的信息选择最好的传输路径。为了满足日益增长的在通信基础上传输多媒体信息的需求,一些新的技术也正在研发和实现中。

点到点连接是物理层协议的主要内容。物理层协议是处理物理介质和通过物理介质传输信息的协议。点到点网络广泛应用在广域范围内从一个网络到另一个网络的信息传输。传输速率从 14.4 kb/s 到每秒几十千兆比特。可利用点到点网络在长途线路上传输语音、数据和多媒体信息。

本章将讨论以点到点方式连接网络时通常采用的几种解决方案。当将一个本地网络改造成一个广域网时,掌握这些技术、使用这些服务是十分重要的。

第一节 数据速率及相关应用

广域网服务提供商可以提供各种速率的广域网链路,单位可以是比特每秒(b/s)、千比特每秒(kb/s)、兆比特每秒(Mb/s)或吉比特每秒(Gb/s)。这些描述一般指全双工,所以,一条 E1 线路双向都是 2 Mb/s,或 T1 线路双向都是 1.5 Mb/s。由于广域网传输距离较局域网长,因此广域网的数据传输速率比较低。

本节首先总结现有提供广域网和城域网连网环境所需的物理层技术。从拨号和租用线路等低速技术开始,然后介绍 T3 和 OC-3 等较高速的技术,以及可能用到这些技术之一的应用,包括每种应用可能需要的相关性能。

学习目标

- ▶ 了解物理层城域网或广域网连接的低速和高速选择方案;
- ▶ 掌握为给定的企业应用选择最合适的技术。

关键知识点

- ▶ 不同的广域网物理层协议在速度和成本上有很大不同。

点到点链路

点到点链路建立了一个本地结点与远程结点之间的物理连接。这些链路有着各种不同的数据速率,随着速率和容量的增加,费用也随之增长。因为点到点链路提供了为持续连接期间所

需的专用带宽,所以用这种方式传输数据所需的费用通常比通过交换服务传输要高许多。另外,当用点到点链路建立城域网或局域网时,必须为要建的每条通信链路购买专用设备。这就意味着随着结点数目的增加,线路数目也随之很快地增长:3个结点需要3条链路,5个结点需要10条链路,等等。使用交换服务就可以在一个共享的通信服务上建立必要的专用链路,即虚电路。异步传送模式(ATM)和帧中继等交换服务,仍然是连接远程网络的一种选择。

本地交换通信公司(LEC)在用户和中心局(CO)之间提供使用现有电话语音网络设施和铜线本地环路的传统电信服务。点到点通信的底层是模拟连接,它使用调制解调器在租用线路或交换线路上传输数据。租用线路是指两个指定地点之间的全天候连接;交换线路是一般的电话线路,通常称之为简易老式电话服务(POTS)。调制解调器在20世纪90年代初十分流行,但由于物理定理的限制,它们已经达到了极限速率。目前最快的调制解调器,即所谓的V.90标准,其运行时可以达到56kb/s。这个速率尽管理论上可以达到,但在给定信噪比的语音级电话线路上通常不实用。

数据电话数字服务(DDS)又叫作数字数据服务。可以通过数据服务单元/信道服务单元(DSU/CSU)的一个专用盒连接到DDS。DSU/CSU代替了模拟方案中调制解调器的功能。DDS提供的速率范围是2.4~56kb/s。DDS线路是两个指定点之间的全天候租用连接,它提供固定的带宽。通常用DDS线路构建专用数字网络。

在点到点链路的发展过程中,在DDS之后又出现了Switched-56(SW56)服务,它能够通过拨号与国家任一地方的SW56用户建立数字连接。SW56技术服务使用与租用线路DDS一样的DSU/CSU,但包括了一个输入远程SW56系统的电话号码的拨号盘。

在点到点链路的顶端是真正的高速数字服务,其中包括:

- ▶ 部分T1(FT1);
- ▶ T1;
- ▶ T3;
- ▶ SONET。

各种数据速率及相关应用

表6.1给出了连接到广域网时最常用的物理层主要技术,并且列出了相关的数据速率、传输介质和相关应用。实际使用时具体选择哪种技术是基于需要和经济考虑的。

表 6.1 物理层技术

技 术	数据速率	传输介质	应 用
拨号	14.4~56kb/s	低级双绞线	从家里连接到办公室和因特网
租用线路	56 kb/s	低级双绞线	小型企业低速接入,办公室到办公室间的连接,因特网连接
Switched-56	56 kb/s	低级双绞线	小型企业低速接入,办公室到办公室间的连接,因特网连接,备用链路

续表

技 术	数据速率	传输介质	应 用
部分 T1	64~768 kb/s	低级双绞线	小型企业到中型企业，中级速率，因特网接入
卫星（Direct PC）	400 kb/s	无线电波	中级速率的小型企业，因特网接入
T1	64 kb/s~1.544 Mb/s	低级双绞线 光缆 微波	中型企业因特网接入，点到点局域网连接
E1	64 kb/s~2.048 Mb/s	低级双绞线 光缆 微波	中型企业因特网接入，点到点局域网连接
ADSL	1.544~8 Mb/s	低级双绞线	中型企业高速家庭因特网接入
线缆调制解调器	512 kb/s~52 Mb/s	同轴电缆	中型企业高速家庭因特网接入
E3	34.368 Mb/s	双绞线 光缆 微波	大型公司因特网接入，ISP 主干网接入
T3	45 Mb/s	双绞线 光缆 微波	大型公司因特网接入，ISP 主干网接入
OC-1	51.48 Mb/s	光缆	主干网、园区网因特网到 ISP
OC-3	155.52 Mb/s	光缆	大型公司主干网，因特网主干网连接
OC-24	1.24 Gb/s	光缆	大型公司主干网，因特网主干网连接

带宽

带宽是指能够通过传输线路或网络传输的最高频率和最低频率之间的差值。模拟网络用赫兹（Hz）表示，数字网络用 b/s 表示。

不同的应用类型需要不同的有效使用带宽。下面列出了一些常用的应用：

- ▶ 个人计算机（PC）通信：300 b/s~56 kb/s；
- ▶ 数字音频：1~2 Mb/s；
- ▶ 压缩视频：2~10 Mb/s；
- ▶ 文档镜像：10~100 Mb/s；
- ▶ 实时视频：1~2 Gb/s。

传输介质能够通过的频率范围越大，其信息传输能力就越大。大多数调制解调器在带宽中间的 300~3 000 Hz 频率范围内传输数据。

尽管信号特性通常在带宽中间是最佳的，但将传输限制在波段中间会限制数据的可用带宽。为补偿这一因素，传统的调制解调器使用复杂的多位编码算法，在每个方向上都在一路载波信号上压缩尽可能多的数据。但这种解决方案的一个缺点，是在出现线路瞬时干扰或其他错

误情况下传输介质上的数据丢失量会增加。调制解调器设计的一个主要目标,是在传输更大量数据的同时使数据丢失最小化。

练习

1. 什么是广域网(WAN)连接的低速和高速选择方案?
2. 列出 4 种高速数字服务。
3. 从企业应用的角度分析拨号、T1、ADSL 和 SONET 的特点。

补充练习

对以下列出的各种技术,找出支持其每个物理接口的路由器产品:

- a. Switched-56
- b. T1
- c. ADSL
- d. OC-1
- e. OC-3

第二节 拨号线路和租用线路

标准电话线路可以用于数字信息和模拟信息的传输。通过标准电话线传输信息的主要方式有两种:拨号和租用线路技术。

学习目标

- ▶ 了解拨号连接的特点;
- ▶ 掌握拨号和租用线路技术的优缺点。

关键知识点

- ▶ 拨号连接使用电话公司提供的交换网络。

拨号连接

拨号线路是两个结点之间通过电话交换网的连接或线路,一般与两地间的语音电话通话相关。在数据通信领域,拨号线路是构成两个远距离结点或局域网间的一条线路。它们使用交换电话网络进行通信,如图 6.1 所示。在数据通信中拨号线路具有以下特性:

- ▶ 2.4~56 kb/s 的传输速率;
- ▶ 提供任意结点之间的连接(一次一个);

- ▶ 在拨号线路的两端都要有兼容的调制解调器，将数字信号转换成可以在语音电话网上传送的模拟信号；
- ▶ 传输之前需要进行呼叫初始化，即要有呼叫建立和断开连接的过程；
- ▶ 拨号线路很便宜，只在连接时收费。

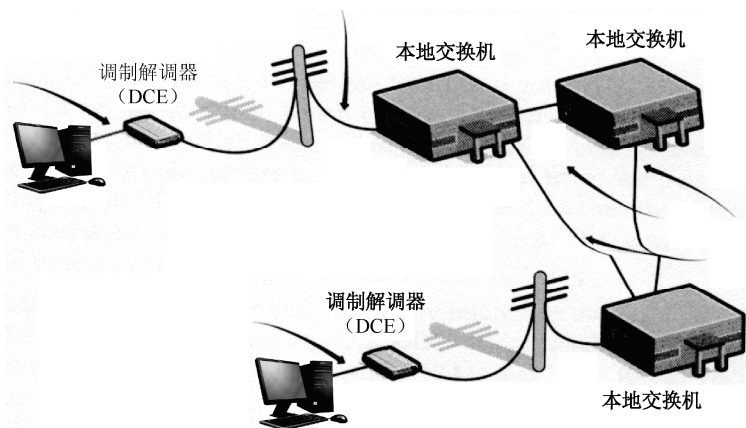


图 6.1 交换线路

租用线路

租用线路是由本地交换电信局(LEC)或长途电信公司为某一机构建造的永久性通信线路。租用线路旁路了本地交换电信局(LEC)上的交换设备，所以在每次数据传输之前不需要起始阶段，因为它们总是连通的。由于机构将根据合同为租用线路交付固定的租金，因此称为租用线路。

租用线路用于建造专用网，在这种情况下，一个机构用它自己的交换设备建立自己的远程连接，以充分显示租用线路不受干扰的性能和它的带宽优势。使用租用线路和私有交换设备，机构可以保证其安全性和对线路通信的控制管理。然而，与使用 X.25 和帧中继等公共网络相比，建造和管理专用网是很昂贵的。专用网需要每个地点之间都有特定的线路，在每端都有桥接器或路由器，所以要互连 4 个点，就需要 6 条租用线路。

租用线路既可以是模拟线路，也可以是数字线路。模拟线路在每个点都需要调制解调器，一般都提供与拨号线路相同的数据速率；但这种线路比拨号线路的质量好。数字线路是可调节线路，它可以提供比模拟线路更高的数据传输速率；如果需要，传输速率可高达 45 Mb/s（对 T3 线路）。

标准的数字线路服务 T1 信道，提供 1.544 Mb/s 的传输速率。T1 线路可通过多路复用器传输声音和数据，所以它们常用于在一个机构的远程地点之间进行音频电话连接。一条 T1 线路可以为音频提供 24 个信道或为数据提供 64kb/s 的带宽。不需要全部带宽的用户可以选择

T1 的一部分。T1 设备很容易用来承载语音和数据的通信流量。当通信流量需求稳定且不能中断服务时，租用线路是最适当的选择。

基于专用线路的租用线路，其优点是：

- ▶ 信息安全；
- ▶ 稳定的服务质量；
- ▶ 线路控制；

其缺点是：

- ▶ 费用高；
- ▶ 站点或结点相互之间使用专线；
- ▶ 随着所需连接的增加，设备和成本也增加。

数字数据服务（DDS）

数字信号比模拟信号能够提供更大的带宽及更高的可靠性。由于免去了数字数据到音频信号、音频信号到数字数据的转换，数字信号系统消除了许多调制解调器必须解决的问题：音频噪声、相移和频移、时钟同步、不稳定线路质量及信号衰减等。将数字终端设备（DTE）连接到一个数字链路的电子设备也没有那么复杂，其最终结果是同等带宽的成本要少得多。

DDS 链路是租用的永久连接，其运行速率为固定的 2.4kb/s、4.8kb/s、9.6kb/s、19.2kb/s 或 56 kb/s。每一端的 DSU/CSU 设备都提供了双线 DDS 线路与传统的计算机接口（如 RS-232）之间的接口。一种典型的局域网互连方式是采用两个 DDS 兼容网桥和外置 DSU/CSU，如图 6.2 所示。

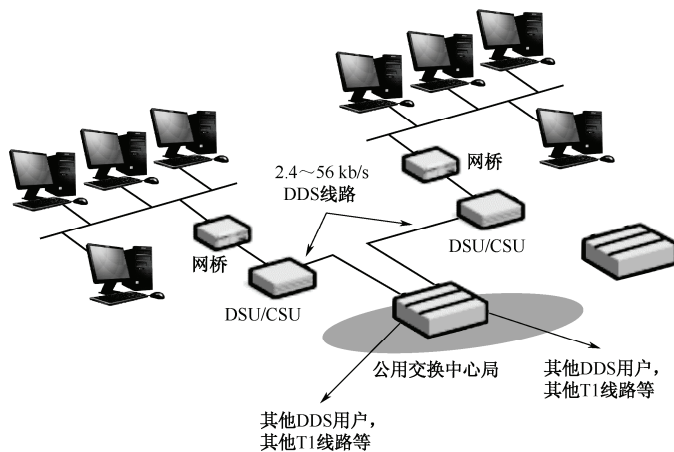


图 6.2 DDS 连接

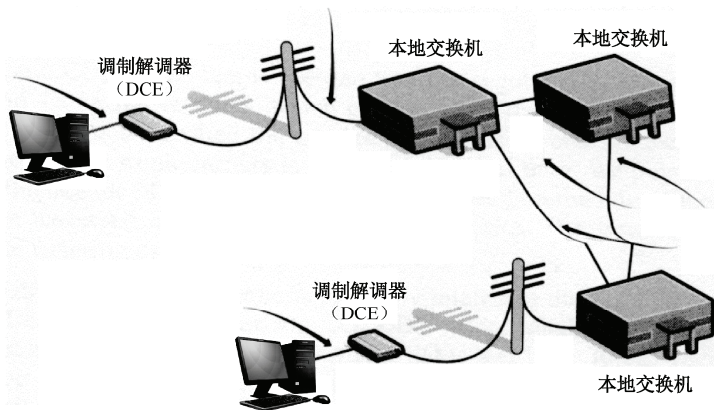
在中心局（CO）内，一条 DDS 线路被合并到 T1 和 T3 载波设备的常规通信流之中，由这些设备将其路由到目的结点。DDS 路由在购买服务时就已经建立，必要的干线介质上的带

宽也在那时被确定。用户每月要为 DDS 支付固定费用，同时还要加上在电话公司干线上基于局间距离的里程费用。所要求的数据传输速率决定了每月的固定费用。

DDS 的物理限制主要与 CSU/DSU 和提供服务的 CO 之间的距离有关。在用户与 CO 的路由距离小于 9.1 km（本地环路线缆长度）时，DDS 工作得很可靠。一个与 CO 相距约 1.6 km 或 3.2 km 的局将需要 6 km 或更长的中间线缆，这是因为大城市市区的本地环路经常绕远。大多数电话公司用一个设计好的线路提供 DDS 服务，电话公司的工程师们在现有的铜缆上寻找从 CO 到用户的最短可能路由，电话公司的现场技术人员为建立指定的路由构建必要的物理连接。

练习

1. 比较租用线路和拨号线路的不同特点。
2. 在下图中，指出线路中的模拟部分和数字部分。



3. 列出租用线路相对于拨号线路的优缺点。

补充练习

使用 Web 查找有关以下产品的信息：

- a. CSU
- b. DSU
- c. DDS
- d. DDS II

第三节 SW56 技术

SW56 (Switched-56) 通过各种方式应用于计算机网络中。在某些情况下, 它提供网络之间的基本连接, 但是更常见的是它作为主路由器的备用设备。本节主要介绍 SW56 技术的功能和应用。

学习目标

- ▶ 了解在连网中如何使用 SW56;
- ▶ 掌握 SW56 的基本原理。

关键知识点

- ▶ SW56 主要用于低速接入和链路冗余。

SW-56 服务

SW56 (Switched-56) 是一种数字服务, 需要一个 DSU/CSU 组合来把路由器或网桥接入电话线, 如图 6.3 所示。

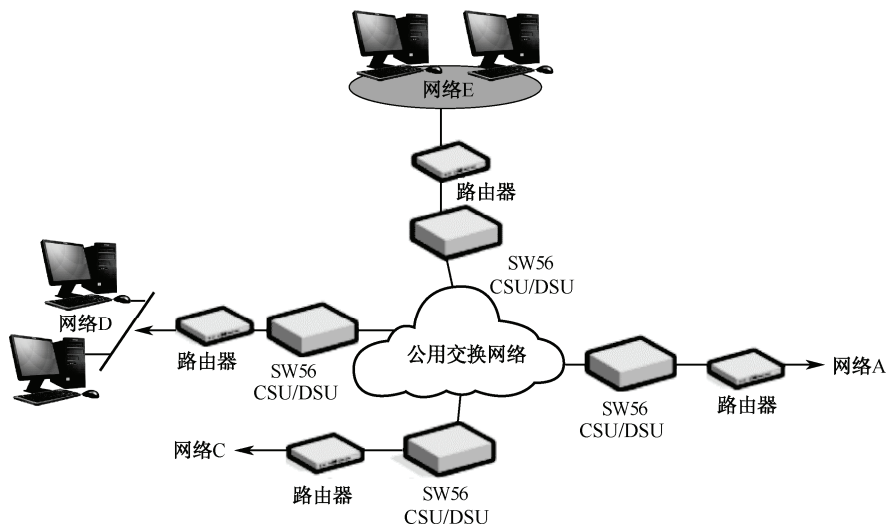


图 6.3 SW56 配置

当不需要全天候连接时, 可以通过使用交换数字服务来节省费用, 这种服务通常称之为 SW56。顾名思义, SW56 仅提供固定的 56kb/s 的速率。一条 SW56 链路近似于一个 DDS 设置。DTE 通过 DSU/CSU 方式接入数字服务。SW56 DSU/CSU 包括一个拨号盘, 以输入目的

SW56 站点的电话号码。

SW56 操作

SW56 使用与本地电话系统一样的电话号码，并且费用也与那些商业语音电话费用一样。因为 SW56 是通过类似于数字化语音呼叫的长途数字网络传输的，所以可以用 SW56 建立长途链路。可以像选择语音呼叫服务一样选择一个长途公司来提供 SW56 呼叫服务。

SW56 在视频和语音方面也有应用。很多电信会议的编码解码器（Codec）将两条或更多的 SW56 线路组合起来，以获取 112~384kb/s 的带宽来传输语音或视频。其他 Codec 可用来传输高保真语音（384 kb/s 就足够传输 CD 质量的声音）以及电信会议语音。SW56 线路很便宜，因此一些网络使用它们为长途广域网提供基本的带宽需求。图 6.4 给出了其中两个办公室需要桥接它们的两个局域网的网络。在大多数情况下，局域网之间通信流量不大，一个 SW56 连接就足够了。但是在通信流量的高峰期，就需要较大的带宽。局域网网桥的一个被称为动态带宽调整（Dynamic Bandwidth Adjustment）的特性解决了这个问题。每个网桥连接到多个数字线路上（在这种情况下是 4 条 SW56 线路）。当通信流量条件许可时，其中一个局域网拨打一个额外的数字呼叫给另一个网桥，将所有呼叫的带宽组合成需要的速率，以 56kb/s 的增量变化。4 条 SW56 线路可以得到 56kb/s、112kb/s、168kb/s 和 224kb/s 的可能带宽。呼叫网桥的配置应保证通信流量下降后，呼叫仍然保持一段时间，以避免当平均通信流量很高但不连续时的重复呼叫。按需提供带宽的网桥和路由器不断地集成 DSU/CSU 设备。

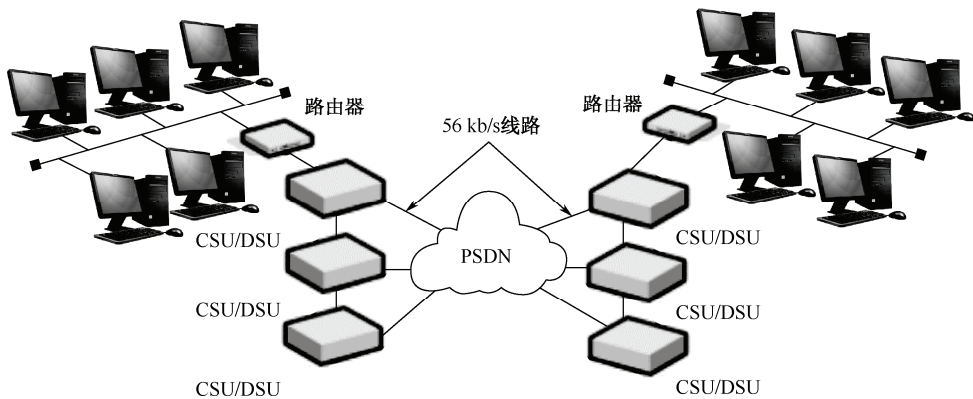


图 6.4 SW56 连接

练习

列举目前 SW56 技术的应用有哪些。

补充练习

1. 使用 Web, 找出至少 3 种能够提供 SW56 连接的产品。对每种产品进行描述, 确定 SW56 端口如何用于广域网连接。
2. 查看当地的电信运营商是否提供 SW56 连接。

第四节 甚小口径终端 (VSAT)

卫星通信是宇宙无线通信的形式之一, 它利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波, 在两个或多个地面站之间进行通信。因此, 常常用于广域信息交换, 特别是国家与国家之间的通信。在卫星通信系统中, 比较典型的是卫星小数据站或称个人地球站, 即众所周知的甚小口径终端 (VSAT)。

VSAT 是 20 世纪 80 年代初期利用现代技术开发的一种卫星通信系统, 它代表了卫星通信领域的一种以卫星方式可靠地传输数据的技术创新。借助于 VSAT 用户数据终端可直接利用卫星信道与远端的计算机进行连网, 完成数据传递、文件交换或远程处理, 从而摆脱了本地区地面中继线问题。在地面网络不发达, 通信线路质量不好或难于传输高速数据的边远地区, 使用 VSAT 作为数据传输手段是一种很好的选择。

学习目标

- ▶ 了解 VSAT 技术最适于做什么;
- ▶ 掌握 VSAT 技术的优缺点。

关键知识点

- ▶ VSAT 技术为很多应用提供了相对高速的连接。

VSAT网的组成

VSAT 使用小口径天线, 其典型口径为 0.9~1.8 m。由于具有高可靠性、多样性和灵活性等特点, VSAT 技术可以作为其他通信方案节省成本的替代方案。

自从 20 世纪 70 年代后期 VSAT 作为只接收的终端被成功地展示以来, VSAT 技术得到了较大发展。在只接收的配置中, 数据信号是通过中心集线器广播给网络中所有终端的, 这些终端都不能发送信号。单路 VSAT 网络中既使用 C 波段 (4~6 GHz), 也使用 Ku 波段 (11~14 GHz)。Ku 波段设备的成本不断降低, 而 C 波段因地面微波系统的使用而变得越来越拥挤, 使得近几年 Ku 波段系统变得普及起来。

VSAT 网通常由一个卫星收发器、一个大型主站和大量 VSAT 小站组成, 能单向传输数据、

语音、图像、视频等多媒体业务。小站和主站通过卫星转发器构成星状拓扑,由于主站采用大口径天线且发射功率大,而小站天线口径小且发射功率小,这样,小站与大站之间能够直接通过卫星转发器相互通信,而小站与小站之间则不能直接通信,要经过小站—卫星—主站—卫星—小站的双跳过程才能实现互通。小站通过卫星发往主站称为内向信道,一般采用 TDMA(时分多址)或 CDMA(码分多址)方式;主站通过卫星发往小站称为外向信道,一般采用 TDM(时分多路复用)方式,内外信道复用载波均可采用扩频技术来提高抗干扰能力。

VSAT 组网非常灵活,可根据用户要求单独组成一个专用网,也可与其他用户一起组成一个公用网(多个专用网共用一个主站)。目前使用较普遍的是能够处理语音和数据的双路或交叉配置网络。交叉网络为在初期电信基础设施中可靠地传输数据提供了一种快速的解决方案。VSAT 应用如图 6.5 所示。

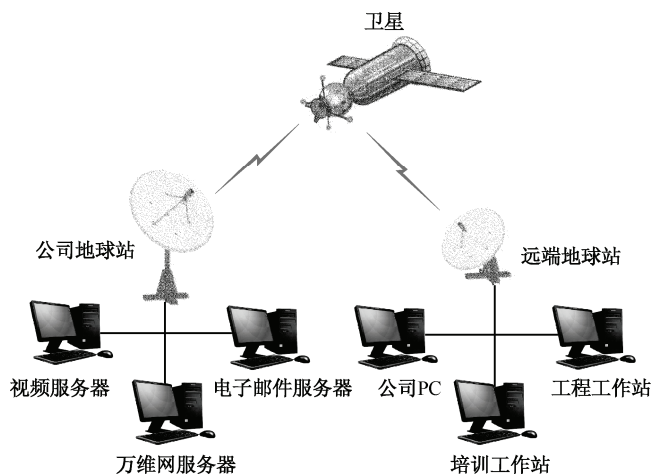


图 6.5 VSAT 应用

一个 VSAT 网实际上包括业务子网和控制子网两部分,其中业务子网负责交换、传输实际或语音业务,控制子网负责对业务子网的管理和控制。传输数据或语音业务的信道称为业务信道,传输管理或控制信息的信道称为控制信道。

VSAT 技术的主要优点有:

- ▶ 小口径天线,其典型值为 0.9~1.8 m;
- ▶ 可多样和灵活地连接几乎所有地点;
- ▶ 高速连接至 E1 (2.048 Mb/s)。

VSAT 的主要缺点是,对于某些低带宽应用(如因特网接入)来说成本较高。对于这些应用,地面解决方案通常更加有效;但是,当需要快速连接远端或较孤立的地点时,VSAT 将是一种较好的解决方案。

卫星应用

卫星系统代表了人类进入 21 世纪时宽带传输的主要平台。Hughes 网络系统公司的 Direct PC 等系统可从同步通信卫星向连接到 PC 的碟形天线发送数据。

双路卫星宽带平台具有有线技术所无法比拟的优势，如：没有地面投资，灵活性高，具有高速带宽，可靠性高，等等。尽管目前卫星下载数据的速率在 400 kb/s 以下，但随着卫星通信技术的发展，下载速率可达到 10 Mb/s。

练习

1. 卫星和 VSAT 技术在因特网连接中起什么作用？
2. 简述 VSAT 网的组成。为什么双路平台对 VSAT 技术非常重要？
3. 列出 VSAT 技术的优缺点。

补充练习

登录到下列网址，浏览 VSAT 的应用：

<http://www.hughes.com>

<http://www.ge.com/capital/spacenet/vsatcent/primer.htm>

第五节 T 载波

T 载波 (T-Carrier) 在电信工业中已经存在了很长时间，并且是广泛应用的语音和数据通信的连接技术。

学习目标

- ▶ 了解 T1 系统、FT1 系统和 T3 系统之间的区别；
- ▶ 掌握使用 T1、FT1 和 T3 技术的应用方式。

关键知识点

- ▶ T-Carrier 是点到点网络连接的主要方式。

T1、FT1 和 T3

除了由电话听筒上的麦克风产生模拟语音信号和在另一端电话听筒的扬声器上再生声音之外，电话网络本质上是二进制的。交换机本质上也是二进制的，它们产生一系列脉冲来代表

数字, 拨号音、忙音及振铃等控制信号都是二进制的。因为电话的这种二进制本质, 将模拟网络转换成数字网络就是一个自然而且合乎逻辑的过程。

当 20 世纪 50 年代后期出现了固态电子设备之后, 语音数字化就变得可行。由于信号仅有两个可能值 (0 和 1), 因此语音数字化的优点在于:

- ▶ 不容易受干扰, 而且更易于从信号中区分出噪声;
- ▶ 通过交换、多路复用或传输等设备时可以精确地再生;
- ▶ 更容易把语音信号与其他二进制信息 (如两台交换机之间的信号) 混合。

数字信号也使时分多路复用 (TDM) 成为可能。1962 年 Bell 系统安装了最早的 “T-Carrier” 系统, 用来对数字化的语音信号进行多路复用。以前开发 FDM 是为了对模拟信号进行多路复用。T-Carrier 现在包括 T1、T1C、T1D、T2、T3 和 T4 (以及相应的欧洲 E1、E2 等), 它们代替了 FDM 系统, 提供了好得多的传输质量。

值得注意的是, T1 及其后来的产品是为了对语音通信进行多路复用而设计的。因此, T1 被设计成每个信道承载一个 4000Hz 模拟信号的数字化表示形式。已经证明, 数字化 4000Hz 语音信号需要 64kb/s 速率。当前的数字化技术已将这一要求降低到了 32kb/s 或更低。但是一个 T-Carrier 信道仍需要 64kb/s。

T1

T1 线路是连接远距离的网络或局域网的专用服务。图 6.6 所示描述了一种典型的 T1 配置。该图描述了如何用 T1 或 T3 线路将两个网络连接在一起。T1 多路复用器和 T1 线路通过同一物理线路提供了语音通信流和数据通信流的连接。

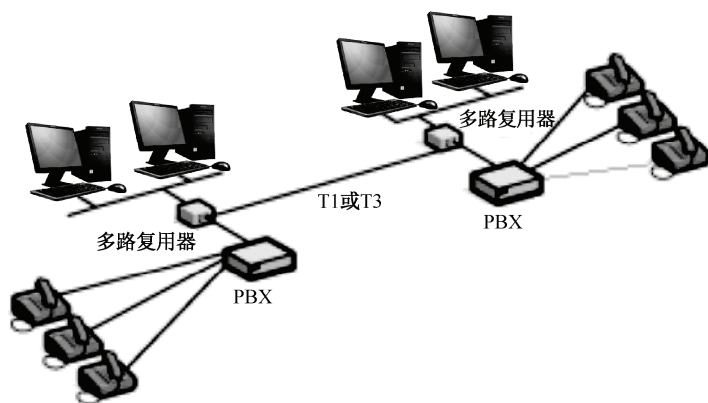


图 6.6 T1 配置示例

就像 DDS 线路一样, 可在两个地点之间租用一条 T1 线路。与 DDS 线路不同的是, 可以将带宽分成多个 64kb/s 信道, 这些信道负责建立呼叫并执行远离 CO 的其他流量的管理工作。图 6.7 显示了采用独立 DS-0 线路的一个典型四端局电话网络。DS-0 线路的设计需要在局与局之间预先分配许多条线路 (叫作 TIE 线路), 它们传输 “内部” 的局际呼叫。另一组 DS-0 线

路必须分配到每个局，以便“外部”呼叫能够访问公共交换电话网（PSTN）。当通话类型改变时，必须移动或增加局间线路，这是一个既费时又很不方便的工作。

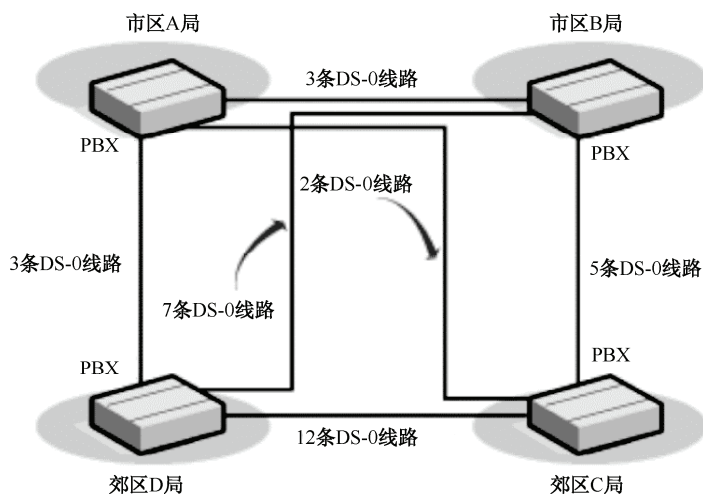


图 6.7 DS-0 网络

图 6.8 展示了一个将局际通信合并到一个包括 4 条 T1 线路的单个主干网上的方案，它可以满足通信流量改变的需要。由于 T2 服务包括在本地网络（本地 CO 交换机）内切换 DS-0 的功能，因此一个局内的任意 DS-0 都可以切换到另一个局的任意 DS-0 或 PSDN 上。T1 的数据应用通过 T1 多路复用器利用了这些功能。T1 多路复用器是一个网络终端设备，其作用类似于一个 SW56 DSU/CSU，不同的是 T1 多路复用器能处理 24 条 DS-0 信道，而不仅仅是 1 条。T1 多路复用器可将多达 24 条 64kb/s 的 DS-0 信道复合到单一的 1.544 Mb/s 的 T1 线路上。

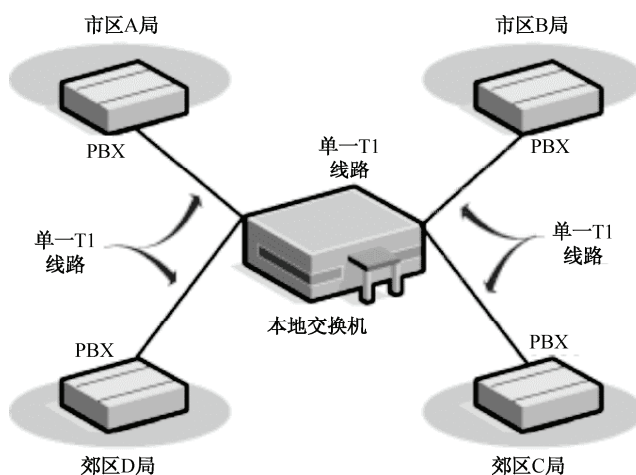


图 6.8 T1 网络

T1 和 T3 线路是很有用的广域网解决方案,因为实际上它们以固定的费用在一个大区域内提供了可变带宽。T1 和 T3 路由器和网桥通常支持 1 条或更多的 T1 或 T3 线路,并自动与网络中的其他路由器和网桥连接。图 6.9 描述了一个典型的基于 T1 的广域网。网络设计者将路由器或网桥连接到邻近的路由器或网桥,形成数字电路。在带宽方面,可以指定按需带宽参数来改变带宽,带宽增量的标准为 DS-0,这与 SW56 线路中使用的技术类似。

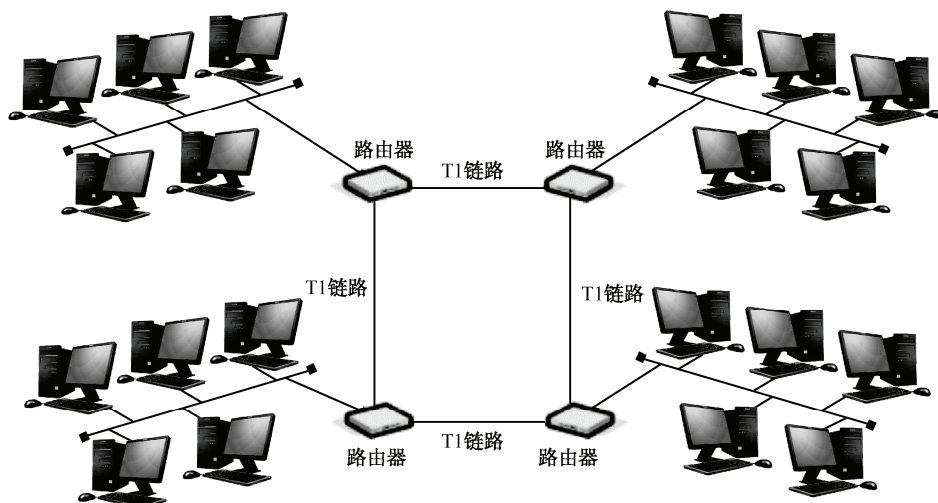


图 6.9 T1 广域网

FT1

租用一条 T1 线路意味着不管是否在使用,一天 24 小时都要为整个 1.544 Mb/s 带宽付费。FT1 允许租用任何 64 kb/s 倍数的部分 T1 线路。例如,可以只租用 DS-0~DS-5,以获得 6 条 64 kb/s 信道或 384 kb/s 的总带宽。当无法接受一条专用 T1 线路的费用时,FT1 就很有用了。FT1 不如交换服务那样高效和灵活,因为所付费用只可以 24 小时拥有部分租用带宽。但是,FT1 具有一个全 T1 线路没有的内在特点:可对在自己的企业 T1 网络之外的 DS-0 信道进行多路复用。

由于没有租用整条线路,不能指定线路另一端的位置。毕竟要与其他用户共享 T1。FT1 线路的远端是在远程通信公司管理的数字存取交叉连接交换中心(DACS)。每个租用 FT1 的用户都有一个嵌入在 DACS 中的远端,在那里电信部门建立了自己的 T1 互连网络。只要电信公司将其配置成可互操作的组织,任何两个共享同一 DACS 的公司就可以互相交换使用对方的 DS-0 信道。当一个大的中央机构(比如政府部门)需要和一些小的机构(比如合约者)合作时,这种可互操作性显示出很大优势。

由于 FT1 单终端的特点,网络中的每个结点都必须租用一条独立的 FT1 线路。相比之下,T1 线路只需要在每一对结点中租用一条就可以了。因此,当 FT1 增加到一定数量时,FT1 反

而比 T1 贵。通常，这种费用逆转的门限大约是 75%。

T3 和北美数字层次结构

北美数字层次结构是用一系列多路复用器（MUX）建立的，如图 6.10 所示。DS-1 信号输入到 DS-2 多路复用器，与其他 DS-2 多路复用器一起，多路复用到 DS-3 层及以后的层次。DS-3（或 T3）是所提供的另外一种服务，T3 的速率是 44.736 Mb/s。

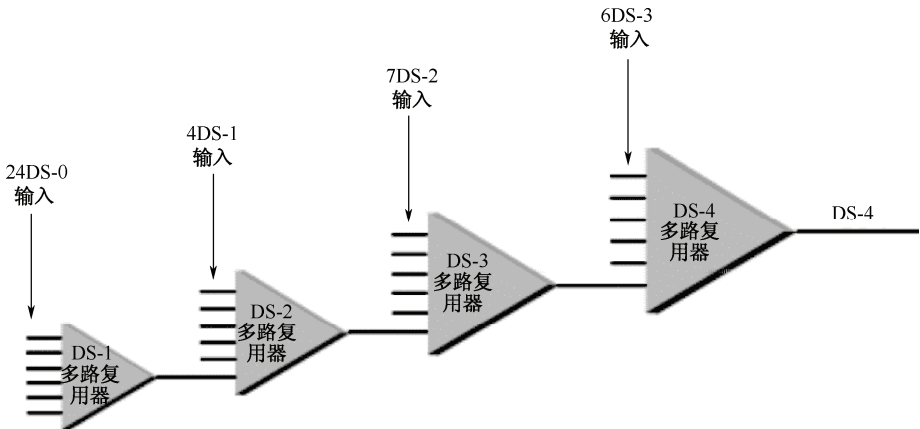


图 6.10 北美数字层次结构

信号成形和编码 数字交叉连接（DSX）由各种设备架（转接板）组成，其中系统组件之间由线缆连接起来。每个数字信号都定义了它自己的交叉连接，且由该交叉连接处理。例如，以 DS1 信号工作的设备之间用 DSX-1 进行互连。

DS1 脉冲的波形在 DSX-1 交叉连接（交换机）中定义。AT&T 的公司刊物 43 801（数字信道组和目标）中描述了这个脉冲的要求，它用来驱动信道组与 DSX-1 之间 0~200 m 的 22 号 ABAM 电缆。最大帧间隔为 50 ms。DS1 脉冲与 DSX-1 脉冲略微有点不同，这两个信号规范之间的比较如表 6.2 所示。当与 CO 或运营商设备进行通信时，使用 DS1；当超过分界点进行信号重建时，使用 DSX-1。

表 6.2 DS1 与 DSX-1 信号规范的比较

功 能	DSX-1	DS1
线路速率	1.544 MHz±200 Hz	1.544 MHz±75 Hz
DSX 点的电缆长度	ABAM / 655	1829 m
脉冲幅度	2.4~3.6 V	2.7~3.3 V
接收衰减	<10 dB	15~22 dB
线路衰减	有	0.0 dB, 7.5 dB, 15 dB
最大连零个数	15 (B8ZS)	15 (B8ZS)

DS1 信号波形是双极性的，这意味着正电压、零电压和负电压对信号的编码很重要。T1 帧格式中使用的双极性信号叫作极性交替转换码（AMI），如果其中一个“1”编码为正电压，则下一个“1”必须编码为负电压，否则就是一个双极性破坏点（BPV）。图 6.11 示出了一个有效的 AMI 序列和一个带 BPV 的 AMI 序列。



图 6.11 两种 AMI 序列

编码序列的一个要求，是发送“1”位来保持时序同步，若一个信号全为“0”，则线路上的电压恒为零，最终系统的时序将失步。根据规范的要求，发送一个“1”之后可发送“0”的个数不得超过 15 个。在 DDS 应用中一直在使用的一种最容易的解决办法，是使所有的第 8 位都为“1”，只使用低 7 位作为数据。这种 7/8 模式产生的速率为 56 kb/s，而不是 64 kb/s 的标准 DS0 速率。B8ZS 帧格式标准就是在这个技术上改进的。

对于 B8ZS 编码来说，每 8 个连零的块都替换为一个 B8ZS 码字。如果插入码前面的位脉冲作为正脉冲（+）来传输，则插入码为 000+0-+；如果插入码前面的位脉冲作为负脉冲（-）来传输，则插入码为 000-0+-（同样，BPV 点出现在第 4 和第 7 位）。B8ZS 编码波形如图 6.12 所示。

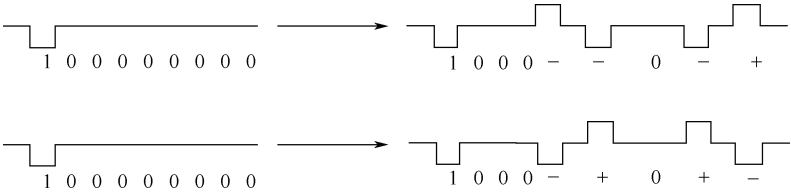


图 6.12 B8ZS 编码波形

电缆 ABAM 电缆是由 AT&T 制造的基于 DSX-1 规范的电缆，它采用 22 号美国线缆规格（AWG）的非屏蔽双绞线（UPT）。不管怎样，ABAM 电缆现在不再可用。现代电缆制造商根据 EIA-568 规范已经开发出了不同类型的电缆。对于 T1 数据速率来说，2 类电缆就够用，它具有以下特点：

- ▶ 24 AWG；
- ▶ 两对；
- ▶ 频率为 0.772 MHz 时，阻抗为 100 Ω；
- ▶ 频率为 0.772 MHz 时，每 305 m 的衰减为 7 dB；
- ▶ 每 305 m 的串话干扰为 41 dB。

应用 可以在哪里使用这些 DS1/DSX-1/T1 信号呢？其应用主要有以下几方面：

- ▶ DACS；

- ▶ D4 信道组;
- ▶ CSU;
- ▶ FT1。

最重要的问题是既有用户自己的 T1 网络,又有采用 AT&T Accunet T1.5 的 T1 网络。其应用方式是相同的,但采用 AT&T 连接的 T1 网络对设备的限制更加严格。

线路成本

T1 线路费用的减少使得越来越多的公司可以传输带宽密集型应用,包括电视会议和其他图像传输程序。用户只需增加少量成本就可以将带宽从普通语音级线路提升到 T1 级。但这种价格的下降趋势被新服务的引入抑制了。为适应短期数据网络的需要,通信公司正在提供各种可靠、高质量的交换数字服务。高速包交换服务也面临着类似的压力。例如,帧中继正被用来满足高速率(56kb/s~1.5Mb/s)的突发数据传输的需要。

练习

1. FT1 与 T1 相比具有哪些优缺点?
2. 列出 T1、FT1 和 T3 技术的若干应用。
3. E 载波是 ITU-T 建议的传输标准,其中 E3 信道的数据速率大约是 (1) Mb/s。贝尔系统 T3 信道的数据速率大约是 (2) Mb/s。

- (1) a. 64 b. 34 c. 8 d. 2
(2) a. 1.5 b. 6.3 c. 44 d. 274

【解答提示】E 载波是 ITU-T 制定的数字传输标准,共 5 个级别。在 E1 信道中每 8 bit 组成一个时槽,每 32 个时槽形成一个帧,每 15 个帧形成一个复用帧。其中 0 号时槽用于帧控制,16 号时槽用于信令和复用帧控制,其余的 30 时槽用于传送语音和数据。因此 E1 载波的数据速率为 2.048 Mb/s,其中每个信道的数据速率是 64 kb/s。通过继续将多个 E1 复用形成更高层的复用帧,例如由 4 个 E1 信道形成 E2,传输速率为 8.448 Mb/s;16 个 E1 信道组成 E3,传输速率为 34.368 Mb/s;由 4 个 E3 信道形成 E4,传输速率为 139.264 Mb/s。

T 载波中语音信道的数据速率为 56 kb/s,通常将 24 路语音被复合在一起,形成 T1 信道,其数据速率为 1.544 Mb/s。同理也可以将 T 载波再次复用,形成高层次的复用。如 4 个 T1 信道形成 T2,数据速率为 6.312 Mb/s,7 个 T2 信道形成 T3,数据速率为 44.736 Mb/s。这些常见的复用信道的速率是要记住的,实际中经常使用这些基本信道的参数。

参考答案是:(1) 选项 B ; (2) 选项 C。

补充练习

使用 Web 查找至少 3 种使用 T1 连接进行数据通信的产品。列出这些产品名称及相应的特性。

第六节 ADSL

非对称数字用户线（ADSL）是本地环路中入户前的最后一步。顾名思义，ADSL 传输非对称数据流，而且传输到用户的信息流量远大于从用户回传的流量。ADSL 使用普通电话线作为传输介质，却有很高的带宽而得到迅速发展。ADSL 的核心是编码技术，目前有离散多音复用（DMT）和调制载波幅度和相位（CAP）两种主要方法。两种方法的共同点是 DMT 和 CAP 都使用正交幅度调制（QAM）。两者的区别是：在 CAP 中，数据被调制到单一载波之上；在 DMT 中，数据被调制到多个载波之上，每个载波上的数据使用 QAM 进行调制。两者相比，DMT 技术复杂，成本也高一些，但由于 DMT 对线路的依赖性低，并且有很强的抗干扰和自适应能力，已成为标准。

学习目标

- ▶ 了解 ADSL 为什么是非对称的；
- ▶ 了解 ADSL 相对于其他本地环路接入方法的优点。

关键知识点

- ▶ ADSL 为用户提供了更大的下行带宽。

ADSL

ADSL 是非对称的，其原因主要与电缆设备本身有关，而与传输技术的关系较小。把双绞线电话线路捆绑在一起就构成了大型电缆。50 对双绞线构成一根电缆对用户来说是常用的配置。但从 CO 出来的电缆却是由成百甚至上千对双绞线捆绑在一起的。从 CO 引出来的电缆是由从 CO 到用户的单条线路不断结合成的。Alexander Graham Bell 发明了双绞线，用来减小由于电线之间辐射和电容耦合而发生的信号干扰，尽管这种干扰没有完全消除。

所有这些干扰使本地环路的带宽限制在大约 1.1 MHz 的范围内。ADSL 非对称地分配这些带宽，即将大部分带宽分配给下行（至用户），而少部分带宽给上行（从用户）。数字用户服务的目标应用大多数是非对称的。视频点播（VOD）、居家购物、因特网访问、远程局域网访问、多媒体访问和专用的 PC 服务等，其特点是下行到用户的数据流的速率高，而从用户上行的数据流速率低。例如，带有模仿盒式录像机（VCR）控制的 MPEG 电影需要 1.5 Mb/s 或 3.0 Mb/s 的下行数据流，在不超过 64 kb/s（或 16 kb/s）上行数据流的情况下也能工作。因特网协议或局域网访问使上行数据流速率有所提高。在大多数情况下，10:1 的下行与上行数据速率比不会影响传输性能。

ADSL 有一个由距离决定的下行数据流的速率范围，如表 6.3 所示。

表 6.3 ADSL 数据速率

数据速率/(Mb/s)	线路规格	线径/mm	距离/km
1.5 或 2	24 AWG	0.5	5.5
1.5 或 2	26 AWG	0.4	4.6
6.1	24 AWG	0.5	3.7
6.1	26 AWG	0.4	2.7

上行数据流的速率范围在 16~640kb/s 之间。现在许多产品的速率变化范围,最小是下行 1.544Mb/s 或 2.048Mb/s,上行 16kb/s;最大是下行 9Mb/s,上行 640kb/s。所有这些速率的运行频带都在 POTS 之上,使得 POTS 服务任何时候都独立而不受干扰,即使是在 ADSL 调制解调器发生故障的情况下也是这样。图 6.13 显示了这种类型用户线路的典型连接。

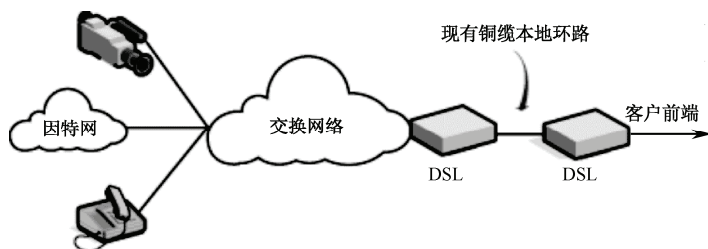


图 6.13 ADSL 连接

当 ADSL 传输压缩数据图像时,还包括为了减少脉冲噪声对视频信号影响的纠错功能。纠错导致了大约 20 ms 的延迟,这种延迟对于局域网和基于 IP 的数据通信应用来说实在是太长了。因此,ADSL 必须知道它传送的是哪种类型的数据,以便决定是否使用纠错控制。(这个问题在通过双绞线或同轴电缆传输的电缆传输技术中会出现。)ADSL 还用于电路交换和包交换(比如 IP 路由器),甚至用于 ATM 数据交换。ADSL 必须同时连接 PC 和电视机顶盒。总起来说,这些应用条件为 ADSL 调制解调器创造了一个复杂的协议和安装环境,使得这种调制解调器的功能远远不止是简单的数据发送和接收。

图 6.14 所示提供了一个 ADSL 网络配置的概况。ADSL 线路连接双绞线两端的 ADSL 调制解调器。它创建了 3 个信息信道:

- ▶ 与 ATM 网络连接的高速下行信道;
- ▶ 中速双工信道;
- ▶ POTS 信道,通过滤波器同数字系统分开,这样就可以保证即使是在 ADSL 发生故障时 POTS 也不至于中断。

ADSL 使用模拟信号,但是将它们在拨号调制解调器的 100 倍或更多倍的频率范围内展开。频谱被分成许多窄带,就好像有 100 个调制解调器在通过一条线路同时发送信号。

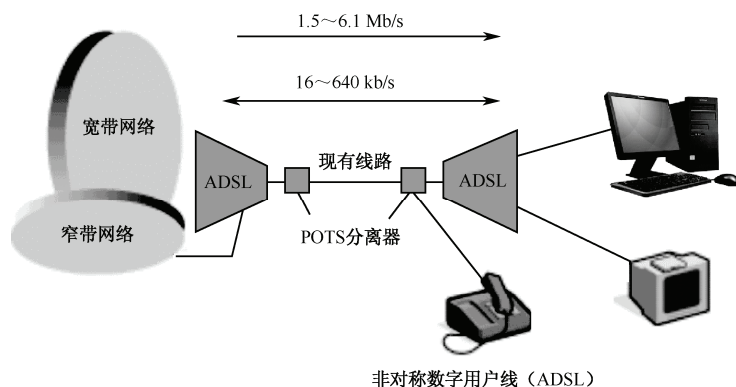


图 6.14 ADSL 配置

ADSL 被认为是 DSL 中最可行的版本,因为它可以跨越很长的距离。下行数据流的速率取决于几个因素:铜线的长度、电线的型号、桥分接头的存在和交叉处的干扰。当线路的距离和线路上的频率增加时,信号衰减的程度增加;当线径增加时,信号衰减程度减小。

由于为 ADSL 设计的许多程序都包括实时信号,不能使用链路层和网络层差错控制协议。因此,ADSL 调制解调器集成了前向纠错(FEC)功能。

为了创建具有各种不同数据速率的多种信道,ADSL 调制解调器通过频分多路复用(FDM)和回波消除技术来分割有效带宽,如图 6.15 所示。

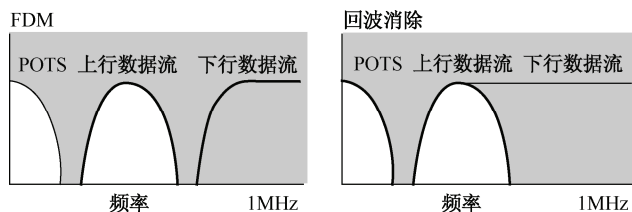


图 6.15 ADSL 带宽

FDM 给上行数据流分配一段频带,给下行数据流分配另一段频带。TDM 再进一步把下行数据通道分成 1 个(或以上)高速信道和 1 个(或以上)低速信道。上行数据信道也被多路复用。另一方面,回波消除把上行频带和下行频带重叠在一起,本地回波消除再把它们分开。

ADSL 调制解调器把上行信道、下行信道和维护信道多路复用成块,并在每个块中加入了一个错误码。接收器可以修正传输中出现的错误,不过受到错误码与块长度的限制。为了使 ADSL 能被广泛使用,必须克服一些技术和操作问题,包括技术规范的采用和本地环路的准备工作。

本地环路存在大量无用的线圈(如最初用来减少通话噪声的负载线圈)。这些线圈充当的是低通滤波器的角色,不允许频率超过 4kHz 的信号通过。因此,在连接 ADSL 之前,必须拆除环路上处于本地分布结点与用户家庭之间的所有负载线圈。

另外,在整个电话系统中到处都存在问题,包括回路太长而造成的信号衰减、没有终结的

线对、线路之间的串扰等。例如，若一条电话线有多个接头，将会导致线路噪声和串扰，从而降低有效数据传输速率。

本地高速因特网访问接入方案

通信网络的本地环路或“最后一公里”，处理 OSI 模型的物理层和数据链路层。目前的通信运营商，如有线电视公司、电话公司和卫星传输公司等，都建立了本地环路宽带基础设施。高速因特网本地访问接入方案的开发和应用速度也非常之快，表 6.4 总结了现在市场上提供的因特网访问的接入方案，这些方案已经在许多地区采用或测试。

表 6.4 因特网访问接入方案

变 量	56 kb/s 调制解调器	ISDN	ADSL Lite	RADSL	ADSL	线缆调制解调器	DirectPC 卫星系统
到用户的速度	56 kb/s	128 kb/s	1.5 Mb/s	7 Mb/s	8 Mb/s	30 Mb/s	400 kb/s
从用户出来的速度	33.6 kb/s	128 kb/s	128 kb/s	1 Mb/s	1 Mb/s	3 Mb/s	无（必须拨号）

56kb/s 调制解调器是用户常用的拨号上网解决方案。如果与现在的宽带上网解决方案相比，那么这是一种不方便的“窄带”接入方案。

ISDN 是端到端的交换数字网络，它将增强的语音和图像性能同高速数据和文件传输结合起来。建立在标准 UTP 电话线基础上的 ISDN 提供了两种速率的服务——基速率和主速率。现在市场上有关的版本都是基速率 ISDN，它在一对双绞线上提供了 3 条信道：2 条 64kb/s 信道和 1 条用于信令或数据包的 16 kb/s 信道。两条载体信道可以绑在一起，提供 128 kb/s 的总速率。

线缆调制解调器是一种在有线电视提供商的混合光纤同轴（HFC）网络上提供宽带因特网访问的技术。这是一种类似于以太网局域网的广播技术，带宽可共享，且数据包以存储转发的形式传送。位于每个用户家中的线缆调制解调器把不是该用户地址的信息过滤掉，余下的信息通过一个虚拟的点到点连接发送给用户计算机。

线缆调制解调器的下行速率最高可达 36Mb/s，但大多数计算机还不能处理这么高的速率。终端用户连接的速率被限制在 10Mb/s 以内，这是通过任何 10BaseT 以太网 PC 连接的最大速率。

xDSL 是把现有的双绞电话线路转化为多媒体和高速数据通信访问路径的调制解调器技术，同时也提供 POTS。20 世纪 80 年代开发的 xDSL 是为了通过电话线提供视频点播（VOD）服务，而其传输数据的最大速率可达到 56kb/s 调制解调器的 160 倍。xDSL 提供的速率是由 xDSL 协议、铜线的粗细程度以及与电话公司的 CO 之间的距离决定的。各种类型的 DSL 技术包括：

- ▶ ADSL 可以提供 3 种下行传输速率：1.544 Mb/s，传输距离可达 5.486km，传输介质是铜双绞线；6.312 Mb/s，距离可达 3.200km；8.448 Mb/s，传输距离可达 2.743 km。都采用 24 号规格线路。ADSL 是非对称的，其下行数据流（到用户桌面）的速率要

高于上行数据流（从用户桌面发出）的速率。非对称解决方案很受欢迎，因为它符合因特网的用户模式。一个典型的因特网网络冲浪现象可以说明这种不对称性：需要敲击 10 次来下载一个 100 kb/s 可交换图像格式（GIF）的文件。

- ▶ RADSL 是另一种形式的 ADSL，可以用于多种情况、多种铜缆长度。RADSL 具有与 ADSL 相同的最大数据传输速率，但是下行和上行数据传输速率是随传输时的线路长度和干扰（串扰）情况不同而不断调整的。
- ▶ 早在 1998 年，Compaq、Microsoft 和 Bell 等几个运营公司就开始正式支持 ADSL，并宣布了一个开发 ADSL Lite 的计划，它是一个不需要安装分离器（将 POTS 分开）的较低版本的 ADSL。启动 ADSL Lite 时，只需将其插入一个 ADSL 调制解调器中，然后与因特网服务供应商（ISP）联系。
- ▶ 位速率非常高的 DSL（VDSL）现在市场上还买不到，它承诺在大约 13 Mb/s 的下行速率下通过铜双绞线传输 1 371 m 的距离，在 26 Mb/s 速率下传输 914.4 m，在 52 Mb/s 速率下传输 304.8 m（所有都是 24 号规格的线路）。

练习

1. 列出下列技术的优势和劣势：

- a. 56 kb/s 调制解调器
- b. ISDN
- c. ADSL Lite
- d. RADSL
- e. ADSL
- f. 线缆调制解调器

2. 为什么 ADSL 是非对称的？

补充练习

进入ADSL论坛站点（<http://www.adsl.com>），研究ADSL的发展应用。

第七节 线缆调制解调器

线缆调制解调器（Cable Modem）是针对本地环路的另一种技术。Cable Modem 可提供基本视频服务多得多的服务，利用有线电视电缆（以下简称电缆）提供高速的因特网连接，以及其他家庭和小型公司的应用等。即使过去安装的电缆也能达到比 T1 租用线路高得多的速率。就是在最慢的情况下，电缆也比一个标准的模拟调制解调器连接快 10~20 倍，比 ISDN 的下载速率快 4~7 倍。这种特性使得对于浏览 Web 和下载大的视频、声音和数据文件来说，Cable

Modem 成了一种很好的选择。

学习目标

- ▶ 了解线缆调制解调器技术的基本原理；
- ▶ 掌握线缆调制解调器和 ADSL 提供的服务。

关键知识点

- ▶ 线缆调制解调器可为用户提供视频、电话和数据服务。

线缆调制解调器技术

图 6.16 给出了线缆调制解调器访问 HFC 网络的概况。HFC 网络由光纤馈线组成，这些光纤将线缆数据转发器连接到服务与邻近的几百个家庭的光纤结点。每个结点到每个家庭之间用同轴电缆连接。家庭中的网络接口单元（NIU）包括线缆调制解调器和其他电子设备（也许是一台电源）。

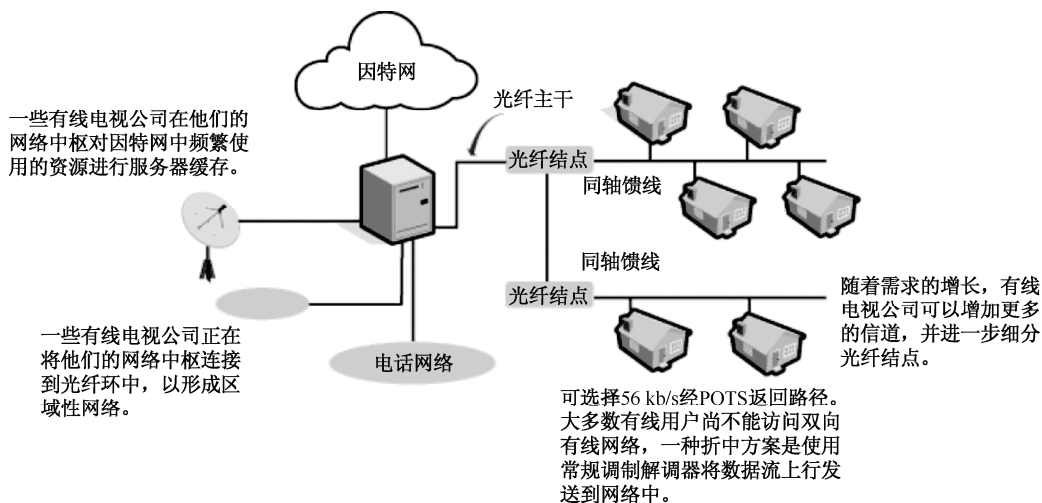


图 6.16 因特网与线缆调制解调器

线缆调制解调器是一个带有调谐器的复杂设备。调谐器负责把通话中的数字信号从广播流（视频）中分离出来，有时是从网络适配器、网桥和路由器、使有线电视公司能监控运行情况。网络管理软件代理以及加密设备中分离出来。每个线缆调制解调器都有一个以太网端口。这种配置产生的结果是 NIU 可以提供 3 条电缆：1 条把广播视频送到电视的同轴电缆、1 条连接到 PC 的以太网网线和 1 条连接电话的双绞线。

最普通的线缆调制解调器在一个 6 MHz 的电视频道中产生了一个下行数据流，占用 5~50 MHz 之间的频段。普通线缆调制解调器利用目前未用的 5~50 MHz 之间的频段建立上行数

据流信道。现在的 HFC 电缆网络使用的是 750MHz 的频率,相当于 110 个 6MHz 带宽(美国联邦通信委员会 FCC 限制)的下行数据流信道。介于 5MHz 和 42MHz 之间的频谱带宽已被上行的信号和通话预定了。使用 64QAM 正交调幅,下行数据速率可以高达 30Mb/s。QAM 中既有调幅也有调相。一个相位和振幅对就代表一个特定的位模式。

下行数据信道是连续的,但被分解成了数据包或数据单元的形式,每个数据包的地址都是一个特定的用户。频谱的下行部分支持混合服务,包括模拟视频、数字广播、交互式视频、电话和数字服务等。下行传输不会干扰发送给电视机的电视信号的传输。上行传输的速率随调制解调器的不同而不同。为了避免冲突,系统将每个上行数据包,与嵌入到下行信息流中的控制信号一起放到网络上。

有两种类型的线缆调制解调器:双向线缆调制解调器和电话返回式线缆调制解调器。电话返回式线缆调制解调器使得还没有升级到双路通信的电缆网络用户也能从下行连接的高速率中获益。现在使用的大多数线缆调制解调器就是电话返回式线缆调制解调器。

线缆调制解调器可以提供的功能有:对信号扭曲的补偿、地址过滤、发送和接收、自动功率调整、自动振幅调整(补偿温度的变化)、信号调制和对不同距离造成的延迟的补偿等。它要求在计算机中装有 TCP/IP 软件。

为了使线缆调制解调器得到广泛应用,有线服务运营商必须克服许多技术上和操作上的问题。这些问题包括用户前端设备(CPE)的技术规范和双向传输设备的准备工作。另外,在上行信道上模拟噪声的干扰很大,且很难克服。

ADSL与线缆调制解调器应用比较

从最终用户的观点来看,ADSL 和线缆调制解调器都能提供不间断的连接,它们使得连接到因特网就像使用光驱(CD-ROM)一样容易。这两种技术都需要访问安装程序才能使用。选择 ADSL 还是选择线缆调制解调器,取决于用户对共享带宽、价格以及主机选择(选择 ISP 或公司局域网)等因素的要求。

- ▶ 共享带宽——ADSL 需要一个专用的连接,而线缆调制解调器需要用户共享对传统的以太网广播网络的访问。当有多个线缆调制解调器用户同时在线时,下行速度会降低到 64 kb/s,远远低于广告上所说的 10 Mb/s。有线电视公司打算安装更多的数据转发器设备,以减少由于用户增加而使访问速度降低的程度。共享线缆调制解调器的一个更麻烦的问题是缺少安全性。一般黑客就能够很容易地找到一条通向与他相邻的计算机文件系统的路径。
- ▶ 价格——价格对用户来说是一个需要特别考虑的因素。
- ▶ 主机选择——电话公司的 ADSL 服务是基于集线器和对话模型的。在这种模型中集线器可以是一个公司的局域网,也可以是一个 ISP。如 US West,其集线器位置必须购买“兆位中枢”连接线路,速度为 1.5~45 Mb/s。这允许每个“兆位”用户选择自己的 ISP。与此相反,主线缆调制解调器服务只能链接到所提供的专有目录,包括因特

网访问。用户无法选择 ISP。

练习

1. 讨论线缆调制解调器的优势和劣势。
2. 对比线缆调制解调器和 ADSL 服务。
3. 简述光纤同轴电缆混合网（HFC）的组成。
4. 下列关于光纤同轴电缆混合网（HFC）的描述中，错误的是（ ）。
 - a. HFC 是一个双向传输系统
 - b. HFC 光纤结点通过同轴电缆下一引线为用户提供服务
 - c. HFC 为有线电视用户提供了一种 Internet 接入方式
 - d. HFC 通过 Cable Modem 将用户计算机与光缆连接起来

【解答提示】 线缆调制解调器（Cable Modem）是专门为利用有线电视网进行数据传输而设计的，它把用户计算机与有线电视同轴电缆连接起来。因此选项 d 是错误的。

补充练习

1. 研究线缆调制解调器技术的发展过程。总结你的发现。
2. 研究 ADSL 技术的发展与应用。总结你的发现。

第八节 同步光纤网

在公用长途网络中有时已经使用了光纤。第一代光纤链路本质上是完全专有的，包括其体系结构、设备、协议、多元帧格式等。同步光纤网（SONET）是 ANSI（美国国家标准化组织）给出的一个光纤传输系统标准。SONET 定义的接口标准位于 OSI 模型的物理层，这个标准定义了接口速率的层次，并且允许数据以多种不同的速率进行多路复用。SONET 建立了一个以 OC 为单位的传输速率衡量标准，基本的速率为 51.8 Mb/s。由于不同国家的数字传输系统和光纤系统采用的实际传输速率各不相同，因此，采用 SONET 可以使这些系统之间在数据范围内更加容易地进行互连互通。

学习目标

- ▶ 掌握构成 SONET 体系结构的协议；
- ▶ 了解在基于 SONET 的网络中常用的设备。

关键知识点

- ▶ SONET 用 OC（光载波）这个术语来表示数据速率描述符。

同步光纤网（SONET）标准

SONET（同步光纤网络）和 SDH（同步数字体系）是一组有关光纤信道的同步数据传输的标准协议，常用于物理层构架和同步机制。SONET 是由美国国家标准化组织（ANSI）颁布的美国标准版本。SDH 是国际电信同盟（ITU）颁布的国际标准。

SONET 规范定义了一个信号分层结构，类似于 T-Carrier 分层结构，但 SONET 分层扩展到了大得多的带宽。基本构建块是 51.84 Mb/s 的 1 级同步传输信号（STS-1），它被用来容纳一个 DS3 信号。这个分层结构定义到了 STS-48，即 48 个 STS-1 信道，总共 2488.32 Mb/s，能承载 32256 个语音线路。STS 这个符号只用在电信号接口中。光信号标准被相应地指定为 OC-1、OC-2 等。现在，OC 速率可高达 OC-768，即 40 Gb/s。

SONET 最初是美国标准，后来并入了同步数字系列（SDH）。SDH 是由 CCITT 和许多国际的邮政、电话和电报（PTT）公司发展起来的。进行标准化的原因是想将前面提到的 3 个标准合并成一个世界范围的网络标准。SONET/SDH 是一个满足世界范围标准化需求的标准。SONET 使用 OC 或 STS 作为数据速率描述符。SDH 使用同步传送模式（STM）。

目前，常用的 SONET/SDH 传输速率如表 6.5 所示。

表 6.5 SONET/SDH 传输速率

SONET 信号	传输速率/ (Mb/s)	SDH 信号	SONET 性能	SDH 性能
STS-1 和 OC-1	51.840	STM-0	28 个 DS-1 或 1 个 DS-3	21 个 E1
STS-3 和 OC-3	155.520	STM-1	84 个 DS-1 或 3 个 DS-3	63 个 E1 或 1 个 E4
STS-12 和 OC-12	622.080	STM-4	336 个 DS-1 或 12 个 DS-3	252 个 E1 或 4 个 E4
STS-48 和 OC-48	2 488.320	STM-16	1 344 个 DS-1 或 48 个 DS-3	1 008 个 E1 或 16 个 E4
STS-192 和 OC-192	9 953.280	STM-64	5 376 个 DS-1 或 192 个 DS-3	4 032 个 E1 或 64 个 E4
STS-768 和 OC-768	39 813 120	STM-256	21504 个 DS-1 或 768 个 DS-3	16 128 个 E1 或 256 个 E4

另外一些传输速率的定义，如 OC-9、OC-18、OC-24、OC-36、OC-96 及 OC-768，可参照相关标准文档，但使用并不普遍。

SONET协议结构

图 6.17 所示给出了 SONET 结构和 OSI 模型的关系。注意，SONET 是物理层的标准，它处理数据位的传输。SONET 物理层分为路径层、线路层、分段层和光子层 4 个层。

路径层

路径层是端到端管理和数据传递的逻辑连接。该层是 DS-3、FDDI 或其他协议在 SONET

网络中的映射点。它的功能在概念上类似于网络层协议。

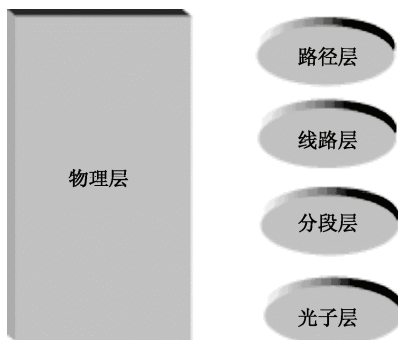


图 6.17 SONET 结构和 OSI 模型

路径层是 SONET 中的服务访问。通过一部分被称为路径开销（POH）的保留带宽，路径层负责在网络部件间完成下列功能：

- ▶ 服务的映射和传输；
- ▶ 设备状态；
- ▶ 连接；
- ▶ 差错监控；
- ▶ 用户定义的功能。

路径端接设备（PTE）包括发起和结束传输服务的网络部件。像 SONET 数字交叉连接（DCS）系统之类的 PTE，用来读取、解释并修改路径开销。定位或映射到 STS-1 路径层的净荷被称为净荷。在同步净荷包（SPE）容量范围内，净荷可放置在任何位置。路径开销（POH）驻留在净荷中。

线路层

线路层负责在传输介质（通常是光缆）上可靠地传输路径层的净荷和路径开销。在线路层运行的网络部件称为线路端接设备（LTE）。线路层为路径层的净荷和路径开销提供了下列 LTE 到 LTE 的功能：

- ▶ 同步；
- ▶ 净荷定义；
- ▶ 多路复用；
- ▶ 差错监控；
- ▶ 自动保护交换（APS）。

这些功能是由 STS 中的称为线路开销（LOH）的一部分带宽完成的。LOH 可以被任何可以终止这一层的设备读取、解释和修改。线路端接设备（LTE）的例子有 SONET 光纤多路复用器，包括增/减多路复用器。在同一台机器中，可以同时包含 LTE 和 PTE，或者 PTE 可以驻

留在另一个位置。值得注意的是，PTE 也是 LTE。

分段层

分段层提供类似于 OSI 模型的数据链路层功能。分段层负责在光纤上传输 STS- N 。这一层的网络部件叫作分段端接设备 (STE)。通过使用被称为分段开销 (SOH) 的一部分 STS-1 的保留带宽，分段层可执行下列 STE 到 STE 的功能：

- ▶ STS 验证；
- ▶ 组帧；
- ▶ 加密；
- ▶ 差错监控；
- ▶ 用户定义的功能。

SOH 由可终止这一层的所有设备读取、解释和修改。PTE 和 LTE 也是 STE。SONET 再生器就是 STE 网络部件的例子。

光子层

光子层负责光纤上数据流的传输。这一层将传输的电信号转换成光信号，并执行相反的过程。收发器 (Transceiver) 就是一种把电信号转换为光信号的设备。光设备在这一层进行通信，没有开销。这一层的主要功能是加密，并将电形式的 STS- N 帧转化为光脉冲 (如 OC- N)，以便在光纤上传输。加密延长了激光发射器的使用寿命。这一层需要监控的有：光脉冲成形、功率水平和波长。

SONET多路复用

SONET 使用 STS-1 的位速率 (51.84 Mb/s) 作为基本构件块。更高的传输速率是 STS-1 速率的倍数。图 6.18 描述了 SONET STS-3 的基本多路复用结构。从 DS-0 到宽带 ISDN (B-ISDN) 的任意类型的服务都能被服务适配器接收。适配器将信号映射到 STS-1 的净荷信息包中。通过在 SONET 网络边缘上增加新的服务适配器，就可以传输新的服务和信号。在这个例子中，3 个 STS-1 被多路复用成一个 STS-3，并转化成一个 OC-3 信号。

每一个输入最终都转化成了一个同步 STS-1 信号 (51.84 Mb/s) 的基本格式或更高的格式。低速输入 (如 DS-1) 是被多路复用 to 虚拟支路上的第一个位或字节，如图 6.19 所示。然后几个同步 STS-1 经过一级或两级多路复用，形成一个 STS- N 电信号。

STS 多路复用是在字节交叉同步多路复用器上完成的。字节以使低速信号可见的格式相互交叉。接着再实现从电信号到光信号 (即 OC- N 信号) 的转换。

多个 STS-1 帧能被多路复用在一起，形成更高速的信号。

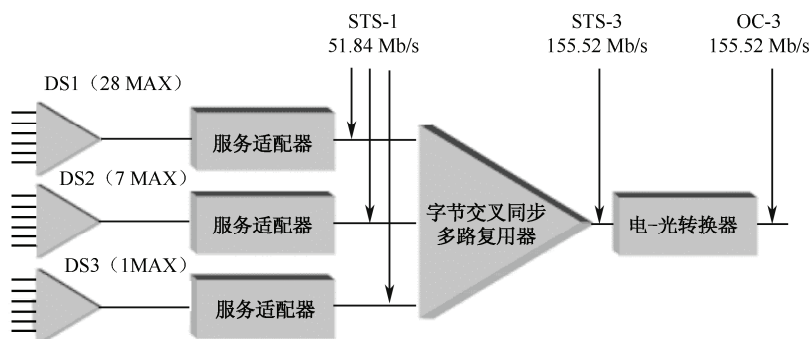


图 6.18 SONET STS-3 多路复用

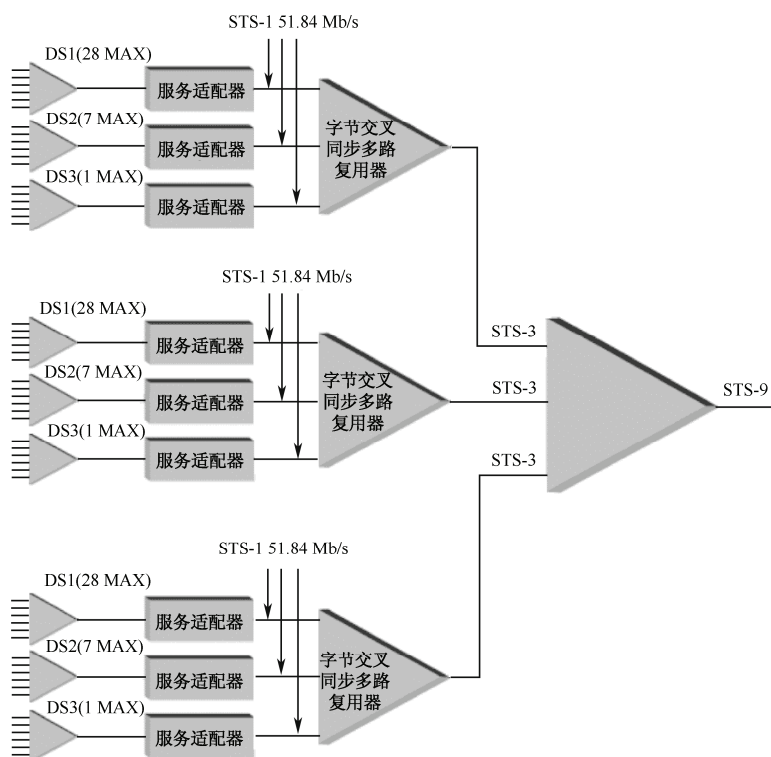


图 6.19 SONET 同步多路复用

SONET帧格式

SONET 的帧格式如图 6.20 所示。SONET 帧可以分成两部分：传输开销和 SPE。SPE 又分成两部分：STS POH 和净荷。净荷是在 SONET 网络上传输和路由的用户数据。净荷被多路复用而构成净荷包后，就可以不被中间结点解释而直接在 SONET 上传输和交换。因此，SONET

据说是服务独立或服务透明的。STS-1 净荷的传输能力可达到：

- ▶ 28 个 DS-1；
- ▶ 14 个 DS-1C；
- ▶ 7 个 DS-2；
- ▶ 1 个 DS-3；
- ▶ 21 个 CEPT1（E1 型信号）。

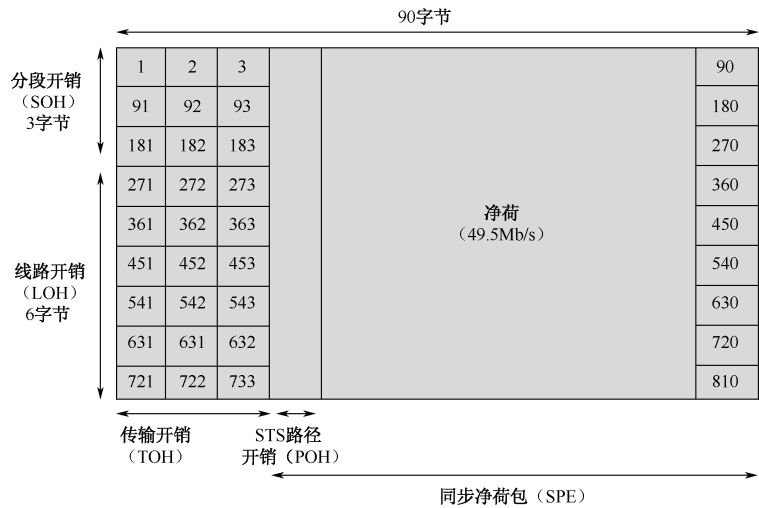


图 6.20 SONET 帧格式

一个数据帧从字节 1 开始，从左到右一字节一字节地传输，直至传输完字节 810。整个帧的传输需要 125 μs。

帧中的每一分段对应着 SONET 帧的特定“头”。LOH 与 SOH 组合成为传输开销 (TOH)。图 6.21 描述了 SONET 网络的分段、线路和路径部分。每一部分都加入了开销，以便简化多路复用和减少电路维护。从头至尾都带着路径层开销。其中转发器又叫作再生器。

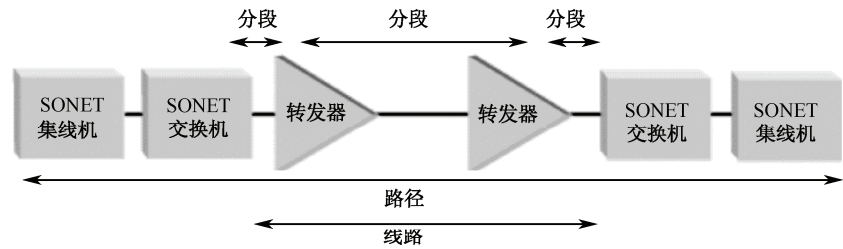


图 6.21 SONET 配置示例

SONET 也定义了 STS-1 子层，称之为虚拟分支 (VT)。表 6.6 定义了 4 种虚拟分支速率。虚拟分支也可看作以 SONET 为基础的系统输入。

表 6.6 虚拟分支

类 型	传 输	VT 速率/ (Mb/s)
VT1.5	1 个 DS-1	1.728
VT2	1 个 CEPT1	2.304
VT3	1 个 DS1C	3.456
VT6	1 个 DS-2	6.912

在一个 STS-1 帧中，每一条 VT 占据一列数字，如图 6.22 所示。在 STS-1 内，许多 VT 组能混合在一起，形成一个 STS-1 净荷。



图 6.22 STS-1 组帧

同步是数字通信的关键技术之一。SONET VT 需要时钟信号用于数据流同步。同步与异步多路复用技术是将 DS1 信号组合成为更高速率数据流的两种主要方法。SONET 使用同步多路复用技术。为了更好地理解 SONET 的同步多路复用系统，先考虑异步多路复用技术。异步多路复用器将 DS1 组合成为 DS2，然后再组合成为 DS3。由于参考时钟在各个电路间可变，多路复用技术必须允许这种改变。异步多路复用通过使用称之为“位填充”的方法来实现。为了访问各个 DS 信号，接收机必须首先解复用，并删去填充的位等。SONET 同步多路复用技术将 DS VT 组合成为 STS-1 SPE。因为多路复用是同步的，低速分支被复用在一起，并且在较高速率下可见。不需要对整个 STS-1 进行多路分解，就能把含有 DS-1 的 VT 单独抽取出来。

SONET网络组件

在一个基于 SONET 的网络中，可能用到几种组件。一些较常见的组件有：

- ▶ 增/放多路复用器（ADM）；
- ▶ 宽带 DCS（数字交叉连接交换机）；
- ▶ 宽波段 DCS；
- ▶ 端接多路复用器（TMUX）；

► 再生器。

一个增/放多路复用器或多路分解器能将不同的输入多路复用成一个 OC-*N* 信号。它可用于终端站点或中间网络结点，可以像集线器那样配置，如图 6.23 所示。在一个增/放点，只有那些需要存取的信号被分接或插入，其他通信流则继续直接通过，不需要特殊设备或额外处理。

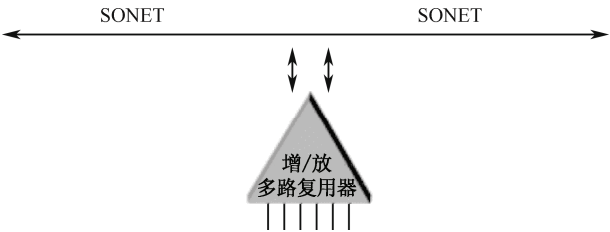


图 6.23 ADM

宽带 DCS 组件可以接收不同的光载波（OC）速率，可以访问 STS-1 信号，并在该层上进行交换。它最适合用于 SONET 集线器。SONET 宽带 DCS 组件如图 6.24 所示。交叉连接系统和增 / 放多路复用器之间的一个主要区别，是交叉连接系统可以将更多的 STS-1 进行互连。

宽波段 DCS 系统类似于宽带 DCS 系统，只不过宽波段 DCS 系统的交换是在 VT 层完成的，如图 6.25 所示。宽波段 DCS 系统接收 DS-3 和 DS-1，只有所需的 VT 才被存取和交换，OC-*N* 信号保持不变，因而比宽带 DCS 允许进行更多的粒状多路复用 / 多路分解。宽波段 DCS 属于 PTE。

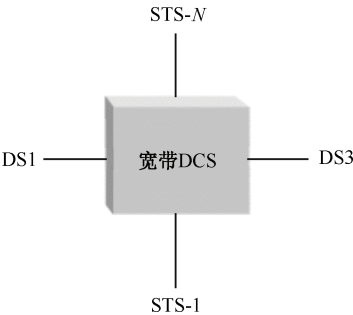


图 6.24 SONET 宽带 DCS

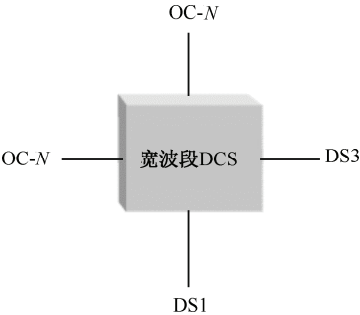


图 6.25 SONET 宽波段 DCS

端接多路复用器（TMUX）是用来访问 SONET 网络的设备，如图 6.26 所示。TMUX 是一个路径终端设备（PTE），用作连接到 SONET 网络的接入点。



图 6.26 SONET 端接多路复用器

如果两个多路复用器之间的距离太长,在光纤中传输的信号有可能变得很弱,这时需要使用再生器。SONET 再生器如图 6.27 所示,它在设备之间的距离很长时用来放大 OC- N 光信号。再生器在接收到 STS- N 帧中将 SOH 替换掉,而对 LOH、POH 和净荷保持不动。因此,再生器属于 STE。

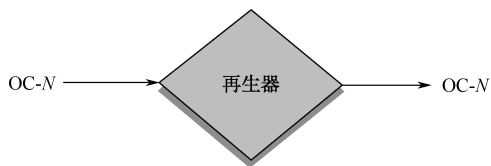


图 6.27 SONET 再生器

练习

1. 为什么选择 51.84 Mb/s 作为 SONET 的基本速率?
2. SDH 和 OC 之间的区别是什么?
3. 从计算机网络的角度来看,可将 SONET 归为 OSI 参考模型的哪一层?
4. 列出并简要描述 SONET 结构的 4 个协议层。
5. 按照 ITU-T 标准,传输速度为 622.080 Mb/s 的标准是 ()。
a. OC-3 b. OC-12 c. OC-48 d. OC-192

【解答提示】无源光网络 (PON) 是 ITU 的 SG15 研究组在 G.983 建议《基于无源光网络的高速光纤接入系统》进行标准化的,该建议分为两个部分:①OC-3, 155.520 Mb/s 的对称业务;②上行 OC-3, 155.520 Mb/s, 上行 OC-12, 622.080 Mb/s 的不对称业务。参考答案是选项 b。

补充练习

1. SONET 可支持哪些技术?有没有可能在 SONET 网络上承载语音会话?语音网络如何与 SONET 网络进行接口?IP 网络如何与 SONET 网络进行接口,采用什么设备?
2. 研究因特网主干网使用的物理层协议,并总结你的发现。

本章小结

本章介绍了通过广域网传输信息时使用的一些物理层协议。当确定有关广域网的技术时,通常要在可用性、价格和性能之间进行折中。当选择一种广域网技术来满足给定的电信要求时,所使用的线路将决定广域网连接的有效选择。本章讨论的技术代表了许多用于广域网的常用点到点连接技术。

根据电信公司所提供的服务,选定服务时常常要综合考虑服务成本和电信公司提供的带宽。一般而言,带宽越宽,服务费用就越高。例如,使用调制解调器和拨号网络要比使用 T1 服务便宜得多。但是 T1 所提供的带宽可能是拨号方案带宽的 50 倍 (30kb/s 与 1.5Mb/s)。

在点到点服务和交换服务中都使用这些技术。就像在下一章将要看到的那样,数据链路层协议使用这些物理层协议通过单一链路传输信息。例如,运行在 T1 上的帧中继是很常见的。

小测验

1. VSAT 是一种什么样的设备? ()
 - a. 提供对卫星的连接
 - b. 提供对微波系统的连接
 - c. 提供对 PBX 的连接
 - d. 提供对本地环路的连接
2. 部分 T1 线路是 ()。
 - a. 64 kb/s 信道
 - b. 58 kb/s 信道
 - c. T1 信道
 - d. T3 信道
3. 数字数据服务 (DDS) 使用下列哪种设备? ()
 - a. 卫星通信设备
 - b. 数字调制解调器
 - c. 模拟调制解调器
 - d. Codec
4. DTE 的特点是 ()。
 - a. 网络中的终端设备或结点
 - b. 高速交换机
 - c. 由电话公司维护的通信设备
 - d. DSU/CSU
5. T1 等同于 ()。
 - a. DS-0
 - b. ISDN 基速率
 - c. DS-1
 - d. E1
6. 通过 T1 信道传输数据的速率通常为 56 kb/s 的原因是 ()。
 - a. T1 信道的一部分用于传输语音通信的带内控制信号
 - b. 56 kb/s 是通过 T1 进行数据通信的最高理论速率
 - c. T1 只能以 56 kb/s 速率传输信息
 - d. 这是使用 T1 信道的最有效方式
7. 下列哪个是光纤技术? ()
 - a. T3
 - b. T1
 - c. SONET
 - d. 以太网
8. 多路复用器用来 ()。
 - a. 将低速输入信号映射成高速输出信号
 - b. 将高速输入信号映射成低速输出信号
 - c. 将模拟信号转换为数字信号
 - d. 将数字信号转换为模拟信号
 - e. 以上都不对
9. SONET 的基本构建块是 ()。
 - a. STS-1
 - b. 51.84 Mb/s
 - c. 48 kb/s
 - d. 64 kb/s
 - e. a 和 b 都对

10. STS 信号和 OC 信号之间的主要区别是 ()。
- a. 一个数字的, 另一个是模拟的 b. 一个是低速的, 另一个是高速的
c. 一个是电子的, 另一个是光的 d. 一个是二进制的, 另一个是八进制的
11. STS 净荷可以传输 ()。
- a. 28 路 DS-1 b. 1 路 DS-3 c. 28 路 T1 d. 1 路 T3 e. 以上都对
12. 以下哪 3 项是 CSU 的功能? ()
- a. 阻抗匹配 b. 保持激活
c. 再生 d. 回送
13. 编码信号中包含正、零和负电压, 称之为 ()。
- a. B8XS b. AMI c. DXI d. ESF
14. 以下哪 2 项是双极破坏点 (BPV) 的例子? ()
- a. 0000001
b. 011 (第一个“1”为 +5 V, 第二个“1”为 -5 V)
c. 000101 (“1”均为 +5 V)
d. 10001 (“1”均为 -5 V)
15. T1 载波每个信道的数据速率为 (1), T1 信道的总数据速率为 (2)。
- (1) a. 32 kb/s b. 56 kb/s c. 64 kb/s d. 96 kb/s
(2) a. 1.544 Mb/s b. 6.312 Mb/s c. 2.048 Mb/s d. 4.096 Mb/s

【解答提示】在电信数字通信系统中广泛使用脉冲编码调制 (PCM) 技术。模拟电话的带宽为 4 kHz, 根据奈奎斯特定理, 编解码器 (Coder-decoder) 采样频率需要达到每秒 8 000 次, 编解码器每次采样就生成一个 8 比特的数字信息。因此, 一个模拟电话信道在数字化后对应一个 64 kb/s 的数字信道, 这种信道称为 “DS0” (Digital Signal 0, 数字信号 0)。

T1 是 T-载波通信系统的基础, 也称为 “一次群”。它由 24 个 DS0 信道多路复用组成, 每秒 8 000 帧。在一个帧中为每个信道依次分配 8 比特, 每个帧还需要 1 比特用于分帧控制。因此 T1 的帧大小为 $24 \times 8 + 1 = 193$ (比特), 数据速率为 $193 \times 8000 = 1.544$ (Mb/s)。

参考答案是: (1) 选项 c; (2) 选项 a。

16. 按照美国制定的光纤通信标准 SONET, OC-48 的线路速率是 () Mb/s。
- a. 41.84 b. 622.08 c. 2 488.32 d. 9 953.28

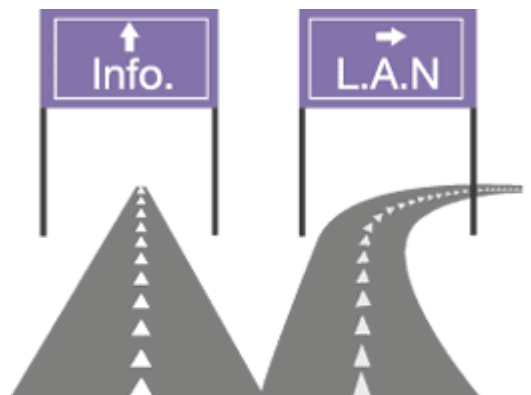
【解答提示】根据常用 SONET/SDH 传输速率见表 6.5, 参考答案是选项 c。



第七章

数据链路层广域网协议

- 1 数据链路控制
- 2 HDLC 协议
- 3 SLIP 和 PPP
- 4 连接到因特网



概 述

广域网的数据链路层协议的主要功能是封装用户载荷,以便在广域网传输介质上传输。这些协议定义的数据链路特征有:物理地址、错误检测、排序、流量控制和网络层协议标记。一般来说,所用的封装协议依赖于所采用的 WAN 技术、通信设备和协议需要支持的服务。例如,如果用户订购了租用线路,那么可能包括的协议有 HDLC、SLIP、PPP 等。

数据链路访问和控制的许多概念都是计算机网络的重要内容。ISO 和 ITU-T (原 CCITT) 在数据链路层协议的标准制定方面做了大量工作,各大公司也形成了自己的标准。数据链路层协议是为收发对等实体间保持一致而制定的,也是为了顺利完成对网络层的服务。数据链路层协议可划分为“面向字符”和“面向比特”两种类型。前者以字符为传输的基本单位,用 10 个专用字符控制传输过程;后者以比特作为传输的基本单位,其传输速率较高,广泛应用于公共数据网。HDLC 就是一种应用很广的面向比特的数据链路控制协议。

本章首先讨论数据链路控制机制,包括滑动窗口协议、停止等待协议,然后介绍广域网环境下常用的一些协议,包括 HDLC、SLIP 和 PPP 等协议。

第一节 数据链路控制

物理层为数据链路层提供了一组虚拟的比特管道。那么,在这样的比特管道上如何形成一条可靠的业务通道为上层提供可靠的服务呢?也就是说,为了在 DTE 与网络之间或 DTE 与 DTE 之间有效、可靠地传输数据信息,必须在数据链路层对数据信息的传输进行控制。

为了在数据链路层形成一条可靠的业务通道,需要解决许多问题。首先要解决如何标识高层送下来的数据块(分组)的起止位置;然后要解决如何发现传输中的比特错误;最后要解决当发现错误后,如何消除这些错误。数据链路层的基本功能就是解决这些问题。

学习目标

- ▶ 掌握广域网数据链路方法,以及数据链路层的基本功能和协议;
- ▶ 了解电路交换网络与包交换网络的区别。

关键知识点

- ▶ 数据链路层报头用于通过链路传输广域网帧。

数据链路层的功能

数据链路层位于 OSI 参考模型的第 2 层,介于物理层和网络层之间,旨在实现网络上两个相邻结点之间的无差错传输。为了完成在不太可靠的物理链路上实现可靠的数据帧传输任

务，数据链路层需要具备以下具体功能：

组帧（Framing） 数据链路层将来自网络层的比特流划分成易处理的数据单元，即帧。一个帧中包括地址信息、控制信息、数据和校验信息几个部分。由帧头和帧尾来标识帧的开始和结束，而且包含帧序号。当出现传输差错时，只需将有差错的帧重传即可，避免了将全部数据都进行重传，因此也称为帧控制或帧同步。帧结构由数据链路层协议规定。

流量控制（Flow Control） 如果接收结点接收数据的速率小于发送结点发送的速率，那么数据链路层就会采用流量控制机制，以避免接收结点缓冲区溢出。

差错控制（Error Control） 差错控制实际指的是差错检错及纠错。数据链路层采用了一定的纠错编码技术进行差错检测，对接收正确的帧进行认可，对接收有差错的帧要求发送端重传，以确保可靠的传输。数据链路层也采用了一定的机制来防止重复帧。差错控制通常在一个帧的结束处增加一个尾部来处理。

链路访问控制（Link Access Control） 当两个以上的结点连接到同一条链路上时，数据链路协议必须能决定在任意时刻由哪一个结点来获取对链路的控制权。介质访问控制（MAC）协议定义了帧在链路上传输的规则。对于点到点链路，MAC 协议比较简单或者不存在；对于多结点共享广播链路，MAC 协议用来协调多个结点的帧的传输，属于多址访问问题。

物理寻址 在一条点到点直达的链路上不存在寻址问题。在多点连接的情况下，发送结点必须保证数据信息能正确地送到接收结点，而接收结点也应该知道发送结点是哪一个结点。如果帧是发给网络中不同系统的，数据链路层需要在帧的头部添加发送结点的物理地址（源地址）与接收结点的物理地址（目的地址）。如果帧要发往发送结点网络以外的系统，那么接收结点的地址就是连接一个网络到下一个网络的设备地址。

数据链路管理 当数据链路两端的结点进行通信时，需要根据具体情况配置数据链路层，使之能为网络层提供不同多种类型的服务。一般，可将数据链路层提供的服务分为三类：

- ▶ 面向连接的确认服务（Acknowledged Connection Oriented Service）；
- ▶ 无连接确认服务（Acknowledged Connectionless Service）；
- ▶ 无连接不确认服务（Unacknowledged Connectionless Service）。

面向连接的确认服务可提供无差错的、有序的分组传输。这包含三个阶段：首先是建立一条数据链路，每个网络层都有一个服务访问点（SAP），通过它可以访问数据链路层；然后是进行数据传输，也就是将分组封装在数据链路帧中并通过物理层传输；最后是在通信结束后拆除连接，释放原来分配给该连接的变量和缓冲区。目前在大多数广域网中，通信子网的数据链路层一般采用面向连接的确认服务。数据链路层也可提供无连接的服务，与第一种服务的不同之处在于它不需要在帧传输之前建立数据链路，也不需要在此帧传输结束后释放数据链路。这类服务主要用于不可靠的传输信道，如无线通信系统。

数据链路控制机制

在讨论数据链路机制时，需要考虑两大因素：一是数据信息在信道上传输时，可能会出现差错；二是发送端与接收端的操作很难做到准确同步，有可能会造成数据信息丢失。下面由简

单到复杂,介绍滑动窗口机制以及三个典型的数据链路协议,即停止等待式 ARQ、后退 N 帧式 ARQ 和选择重传式 ARQ 协议,以实现发送端、接收端的可靠传输。

滑动窗口机制

滑动窗口是数据链路控制的一个重要机制。滑动窗口机制在发送端和接收端分别设置发送窗口和接收窗口。发送窗口和接收窗口在数据传输过程中受控地向前滑动,从而控制数据的传输。

发送窗口和接收窗口 发送窗口是指发送端允许连续发送帧的序列号,即在任意时刻,发送过程保持与允许发送的帧相对应的一组序列号。发送窗口的大小(宽度)规定了发送端在未得到应答的情况下,允许发送的数据单元数。换言之,窗口中能容纳的逻辑数据单元数,就是该窗口的大小。发送窗口用来对发送端进行流量控制。

接收窗口是指接收端允许接收帧的序列号。接收窗口用来控制接收端应该接收哪些数据帧,只有到达的数据帧的序号落在接收窗口之内时才可以被接收,否则将被丢弃。一般,当接收端收到一个有序且无差错的数据帧后,接收窗口向前滑动,准备接收下一帧,并向发送端发出一个确认信息(ACK)。为了提高效率,接收端可以采用累计确认或捎带确认。捎带确认是在双向数据传输的情况下,将确认信息放在自己的数据帧的帧头字段中捎带过去。

当发送端接收到接收端的确认后,发送窗口才能向前滑动,滑动的长度取决于接收端确认的序号。向前滑动后,又有新的帧落入发送窗口,可以被发送,而被确认正确收到的帧落在窗口的后边。发送窗口和接收窗口的序号的上下界不一定相同,甚至大小也可以不同。发送端窗口内的序列号代表了那些已经被发送,但是还没有被确认的帧,或者是那些可以被发送的帧。

可见,接收端的 ACK 作为授权发送端发送数据帧的凭证,接收端通过确认控制发送端发送窗口向前滑动。接收端可以根据自己的接收能力来控制 ACK 的发送,从而实现对传输流量的控制。另外,由于滑动窗口中使用了确认机制,因此它也兼有差错控制的功能。

窗口滑动过程 在滑动窗口机制中,每一个要发送的帧都要赋予一个序列号,其范围从 0 到某一个值。如果在帧中用以表达序列号的字段长度为 n ,则序列号的最大值为 2^n-1 。例如,若在帧中序列号为 3,即 $n=3$,则编号可以从 0 至 7 中进行选择。序列号是循环使用的,当前帧的序号已达到最大编号(即 2^n-1)时,下一个待发送的帧序列号将重新为 0,此后再依次递增。

在发送端,要维持一个发送窗口。如果发送窗口的大小为 W ,则表明已经发送出去但仍未得到确认的帧总数不能超过 W 。在发送窗口内所保持着的一组序列号,对应于允许发送的帧,并形象地称这些帧落在发送窗口内。显然,在初始状态下,发送窗口内允许发送的帧的个数为 W ,而每发出一个帧,允许发送的帧数就减 1。一般情况下,窗口的下限对应当前已经发送出去但未被确认的最后一帧,一旦这个帧的确认帧到达后,发送窗口的下限和上限各加 1,相当于窗口向前滑动一个位置,同时当前允许发送的帧数加 1。若发送窗口内已经有 W 个没有得到确认的帧,则不允许再发送新帧,需要发送的帧必须等待接收端传来的确认帧并使窗口

向前滑动，直至其序列号落入发送窗口内才能被发送。

在接收端则要维持一个接收窗口。在接收窗口中也保持着一组序列号，并对应着允许接收的帧，只有发送序列号落在窗口内的帧才能被接收，落在窗口之外的帧将被丢弃。下面以图 7.1 为例，具体说明滑动窗口机制。假设发送序号用 3 bit 来编码，即发送序号可有 0~7 的 8 个不同的序号。又假设发送窗口大小为 2，接收窗口的大小为 1。滑动窗口工作工程如下：

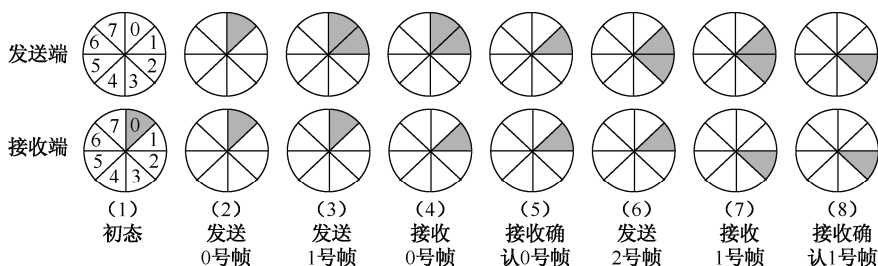


图 7.1 滑动窗口工作过程示意

(1) 初始状态：发送端没有帧发出，发送窗口前后沿相重合；接收端 0 号窗口打开，等待接收 0 号帧。

(2) 发送端打开 0 号窗口，表示已发出 0 帧但尚确认返回信息。此时接收窗口状态不变。

(3) 发送端打开 0、1 号窗口，表示 0、1 号帧均在等待确认之列。至此，发送端打开的窗口数已达规定限度，在未收到新的确认返回帧之前，发送端将暂停发送新的数据帧。接收窗口此时状态仍未变。

(4) 接收端已收到 0 号帧，0 号窗口关闭，1 号窗口打开，表示准备接收 1 号帧。此时发送窗口状态不变。

(5) 发送端收到接收端发来的 0 号帧确认返回信息，关闭 0 号窗口，表示从重传表中删除 0 号帧。此时接收窗口状态仍不变。

(6) 发送端继续发送 2 号帧，2 号窗口打开，表示 2 号帧也纳入待确认之列。至此，发送端打开的窗口又已达规定限度，在未收到新的确认返回帧之前，发送端将暂停发送新的数据帧，此时接收窗口状态仍不变。

(7) 接收端已收到 1 号帧，1 号窗口关闭，2 号窗口打开，表示准备接收 2 号帧。此时发送窗口状态不变。

(8) 发送端收到接收端发来的 1 号帧收毕的确认信息，关闭 1 号窗口，表示从重传表中删除 1 号帧。此时接收窗口状态仍不变。

通过以上示例分析可以看出，发送窗口是随接收窗口的滑动而滑动的，只有在接收窗口向前滑动时，发送窗口才有可能向前滑动。接收窗口如果不向前滑动，发送端就不能发送更多的帧（最多只能发送 W 个帧）。由于在数据传输过程中收、发窗口在不断滑动，所以称为滑动窗口。

滑动窗口的主要功能 滑动窗口机制具有集确认、差错控制、流量控制为一体的良好性能，

(6) 定时器超时, 进程 A 重新发送数据帧 1。

停止等待式 ARQ 协议按照这种方式继续传送数据帧 1, 直到数据帧 1 被正确接收, 且发送端 A 收到确认 ACK。然后, 协议开始传送后续的数据帧。

可见在停止等待式 ARQ 协议中, 接收端可以控制发送端的发送速率。需要说明的是, 接收端反馈到发送端的 ACK 帧是一个无任何数据的帧, 相当于一段时延标志。

后退 N 帧式 ARQ 协议 为提高停止等待式 ARQ 协议的效率, 可以允许发送端发送完一数据帧后, 不必停下来等待对方的应答, 而是按照帧编号的顺序连续发送若干帧。如果在发送过程中, 收到接收端发送来的确认帧, 可以继续发送, 因此也把这种控制方式称为连续 ARQ 协议。若收到对其中某一帧的否认帧或者当发送端发送了 N 个帧后, 发现这 N 帧的前一个帧在计时器超时后仍未返回其确认信息, 则该帧被判为出错或丢失, 此时发送端就不得不重新发送出错帧及其后的 N 帧。这种方法称为后退 N 帧式 ARQ, 也是后退 N (Go Back N) 帧名称的由来。因为对接收端来说, 由于这一帧出错, 就不能以正常的序号向它的高层递交数据, 对其后发送来的 N 帧也不能接收而必须丢弃。

后退 N 帧式 ARQ 协议的工作过程如图 7.3 所示。图中假定发送完 8 号帧后, 发现 2 号帧的 ACK2 在计时器超时后还未收到, 则发送端只能退回从 2 号帧开始重传。

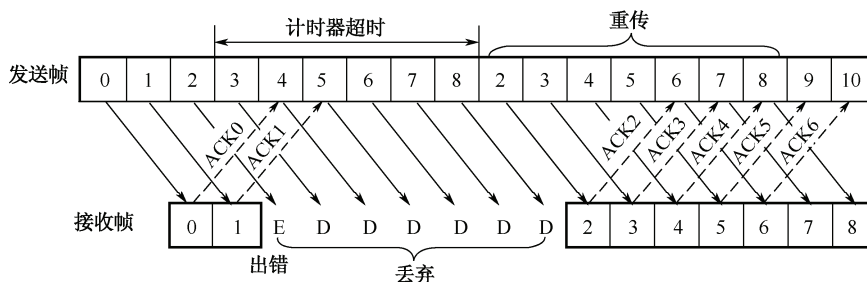


图 7.3 后退 N 帧式 ARQ 协议的工作过程

从后退 N 帧式 ARQ 协议的工作过程可以看出: 如果某一帧没有正确确认, 则该帧以及后面的所有数据帧都要被重传, 即一旦出差错, 发送端就要后退 N 个帧, 然后再开始重传。可见, 未被确认帧的数目越多, 需要重传的帧也就越多, 占用的时间和开销也会增加, 数据传输效率较低。为了提高传输效率, 通过引入滑动窗口机制进行流量控制。

选择重传式 ARQ 协议 当信道差错率较高时, 后退 N 帧式 ARQ 协议会显得效率很低, 因为它需要将已经传输到目的端的帧再重传一遍, 这显然是一种浪费。为了进一步提高信道利用率并减少重传次数, 另一种效率更高的策略是当接收端发现某帧出错后, 其后继续送来的正确帧虽然不能立即递交给接收端的高层, 但接收端仍可收下来, 暂存在一个缓冲区中, 同时要求发送端重新传输出错的那一帧。一旦收到重新传输来的帧以后, 就可以与原已存于缓冲区中的其余帧一并按正确的顺序递交高层。这种方法称为选择重传式 ARQ 协议。

选择重传式 ARQ 协议的工作过程如图 7.4 所示。图中 2 号帧的否认返回信息 NAK2 要求发送端选择重传 2 号帧。显然, 选择重传减少了浪费, 但要求接收端要有足够大的缓冲区空间。

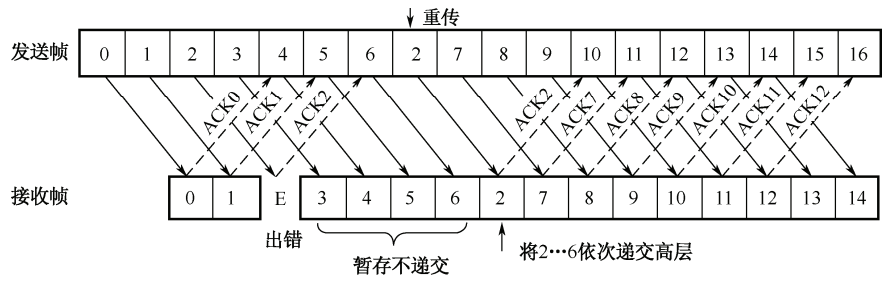


图 7.4 选择重传式 ARQ 协议的工作过程

选择重传式 ARQ 协议的关键是当某个数据帧出错时，不需要重传后面所有的帧；但需要接收端用一个缓冲区来存放未按顺序正确收到的数据帧。即凡是在一定范围内到达的帧，即使未按顺序收到，也要接收下来。这个范围用接收窗口表示。由于选择重传式 ARQ 协议的接收窗口大于 1，可见后退 N 帧式 ARQ 协议是选择重传式 ARQ 协议接收窗口等于 1 时的特例。

对于选择重传式 ARQ 协议，若用 n 位二进制码进行编号，则发送窗口 $W_S \leq 2^N - 1$ ；接收窗口不应该大于发送窗口，因此 $1 < W_R \leq 2^N - 1$ 。

可靠的广域网络

广域连网通常分成如下两大类：

- 包交换——通过端结点之间建立的路径传输带有完整的地址和数据的信息包。每个包到达目的设备所采取的路径可能不同。
- 电路交换——类似于电话呼叫，建立电路之后就不需要进一步的连接协议了。进行会话时只有极少的寻址开销。由于在多点网络中可能有多个站点，因此还需要一定数量的寻址信息。

由于没有建立连接，包交换网络是无连接的。而信息包从一个结点传送到另一个结点，一个包在到达其目的结点之前可能要经过很多结点，同样，两个结点之间可以同时传送很多包。IP 是包交换网络的一个例子。图 7.5 所示给出了包交换网络的配置。

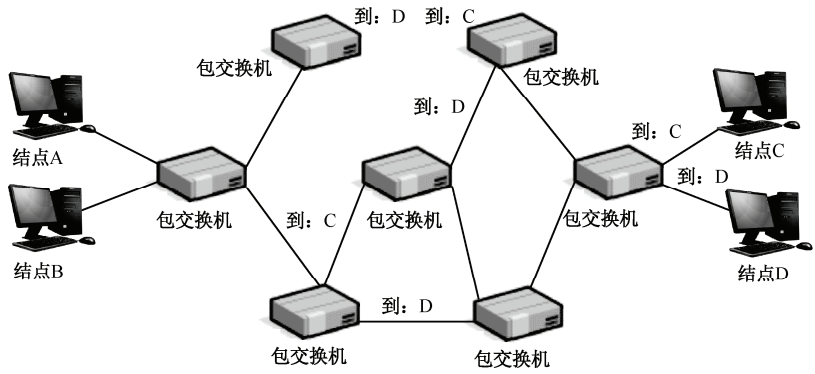


图 7.5 包交换网络

注意，包交换网络仍然需要数据链路层协议和物理层协议在连接到链路设备之间传输信息。底层协议可以是无连接的，也可以是面向连接的。

电路交换网络在两个结点之间建立物理连接，通过其他结点或主机等中间点“交换”，数据包在结点间传输。电路交换网络类似于语音电话系统，这种连接通常称为虚拟电路。虚拟电路为数据建立了在连接过程中不会改变的单一路由，因此是面向连接的。帧中继协议和 ATM 协议是电路交换网络的例子。图 7.6 所示给出了电路交换网络的配置。

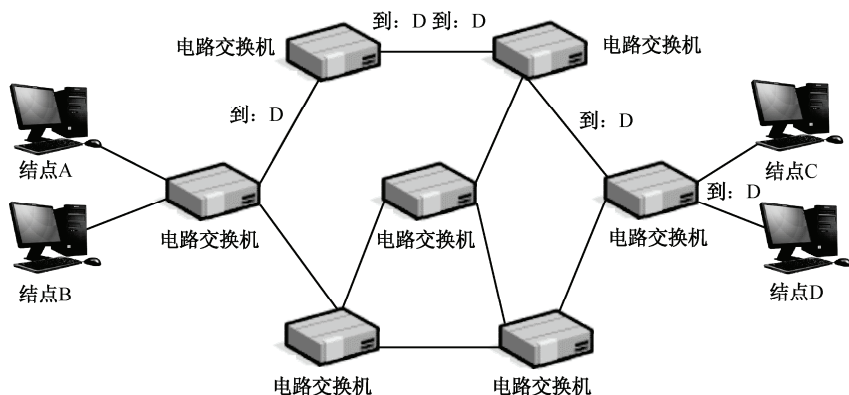


图 7.6 电路交换网络

在早期数据通信中，所有网络都是电路交换的，现在很多网络仍然还采用电路交换技术。对于广域网来说，其重点已经转向包交换，因为它允许更多的结点在单一网络中进行互连。利用包交换，需要的通信信道更少（由于有很多用户共享信道），而且网络互连更简单。因特网是一个很好的大型包交换网络示例。

练习

1. 数据链路层协议的基本功能是什么？
2. 描述电路交换网络与包交换网络之间的主要差别。
3. 对于选择重发 ARQ 协议，如果帧编号字段为 k 位，则窗口大小为（ ）。
 - a. $W \leq 2^k - 1$
 - b. $W \leq 2^{k-1}$
 - c. $W = 2^k$
 - d. $W < 2^{k-1}$

【解答提示】如果帧编号字段为 k 位，对于选择重发 ARQ 协议，发送窗口大小为 $W \leq 2^{k-1}$ ；对于后退 N 帧 ARQ 协议，则窗口大小为 $W \leq 2^k - 1$ 。参考答案是选项 b。

补充练习

1. 研究你所在的机构如何与因特网连接，在局域网和广域网方面使用哪种物理层协议和数据链路层协议。
2. 确定这些协议是无连接的还是面向连接的。

第二节 HDLC协议

20 世纪 70 年代初期, IBM 研制了同步链路控制协议 (SDLC), 并提交给美国国家标准协会 (ANSI) 和国际标准化组织 (ISO)。ANSI 对它进行修改后形成高级数据通信控制协议 (ADCCP), 成为美国标准。ISO 把它修改成了高级数据链路控制 (HDLC) 协议, 成为链路访问协议 (LAP), 并把它作为 X.25 协议的一部分, 继而又修改为平衡式链路访问协议 (LAPB)。这几种协议的原理相同, 差别不大。

HDLC 是广域网连网中最常用的一种数据链路层协议。HDLC 及其子集提供了通过物理链路传输信息的机制。SDLC 和 LAPB 均是 HDLC 的一个子集。

学习目标

- ▶ 了解通过广域网链路进行基本的 HDLC 通信的方法;
- ▶ 掌握 HDLC 帧格式和功能。

关键知识点

- ▶ HDLC 为通过物理链路传输比特流提供信息。

HDLC基本概念

HDLC 是最常用的一个数据链路层协议。在 HDLC 中, 定义了主站、从站和组合站 3 种类型的连接站。

- ▶ 主站——发送命令并接收响应 (又叫作“主”结点), 主要功能是控制整个数据链路。这种配置常见于 IBM 主机。主站可进一步描述为轮询环境。
- ▶ 从站——接收命令并发送响应 (又叫作“从”结点)。例如, 通过远程线路与 IBM 主机通信的从站。从站在主站控制下操作。
- ▶ 组合站——发送或接收命令和响应, 具有主站和从站双重功能。组合站常见于平衡配置, 如 X.25 协议集中的 LAPB, 其中通信都是对等的。

各种通信站之间可以组成不同结构的数据链路, 可按照它们的特点分成平衡型链路结构和非平衡型链路结构两种类型。其中, 平衡型链路结构有两种组织方法: 一种是通信双方中的每一方均由主站和从站叠合组成, 且主、从站间配对通信, 称为对称结构; 另一种方法是通信的每一方均为组合站, 且两组合站具有同等能力, 称为平衡结构。非平衡链路结构也有两种组成方法。其中一种方法是链路的一端为主站; 另一端是从站, 称为点到点式; 另一种组成方法是链路一端为主站, 另一端为从站, 称为点对多点式。对称结构实质上是连接两个独立的点到点式非平衡型链路的逻辑结构, 这种结构中有两条独立的主站到从站的通路, 但它们复用同一条

链路。无论哪种链路结构，站点之间均以帧为单位传输数据或状态的包含信息，其方式具有“行为-应答”的特点。HDLC 非平衡配置如图 7.7 所示，其中定义了主站和从站。HDLC 平衡配置如图 7.8 所示，其中定义了组合站。

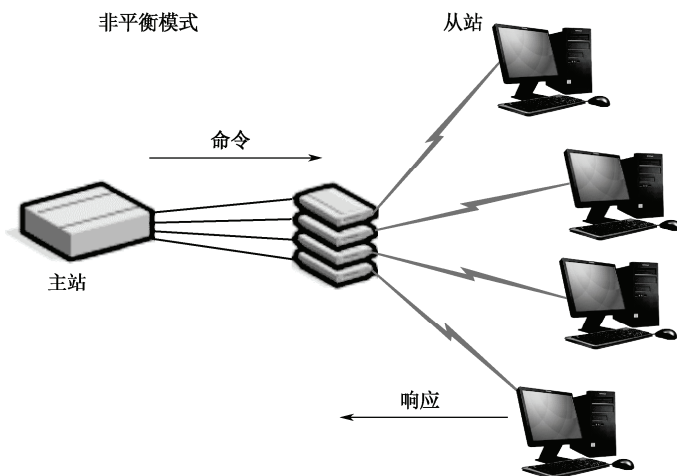


图 7.7 HDLC 非平衡配置

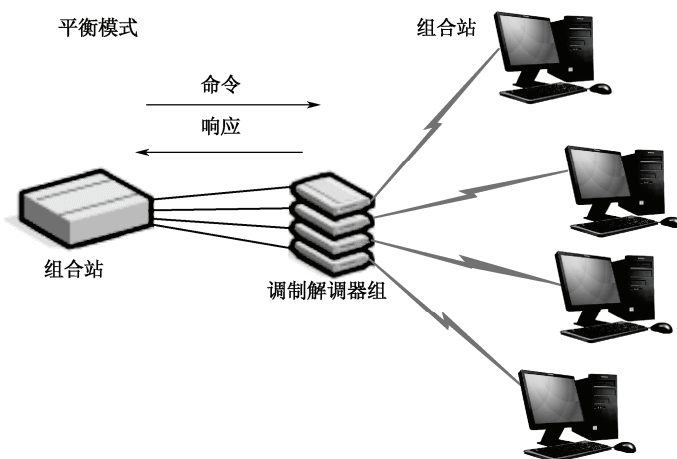


图 7.8 HDLC 平衡配置

操作模式是指通信站点之间数据传输的模式。HDLC 有正常响应模式（NRM）、异步响应模式（ARM）和异步平衡模式（ABM）3 种操作模式。表 7.1 所示给出了两种链路配置和 3 种操作模式。

表 7.1 两种链路配置和 3 种操作模式

链 路 配 置	操作模式	说 明
非平衡配置（点到多点链路，由一个主站和一个或多个从站组成）	正常响应模式（NRM）	只有主站能够启动数据传输
	异步响应模式（ARM）	无须主站明确指示即可启动数据传输，主站只负责控制线路
平衡配置（点到点链路，由两个组合站组成）	异步平衡模式（ABM）	任何一个组合站都无须另一个组合站的允许即可启动数据传输

HDLC帧格式

HDLC 的帧格式如图 7.9 所示，通过两台通信设备之间给定的物理链路，可以用这些帧进行通信。

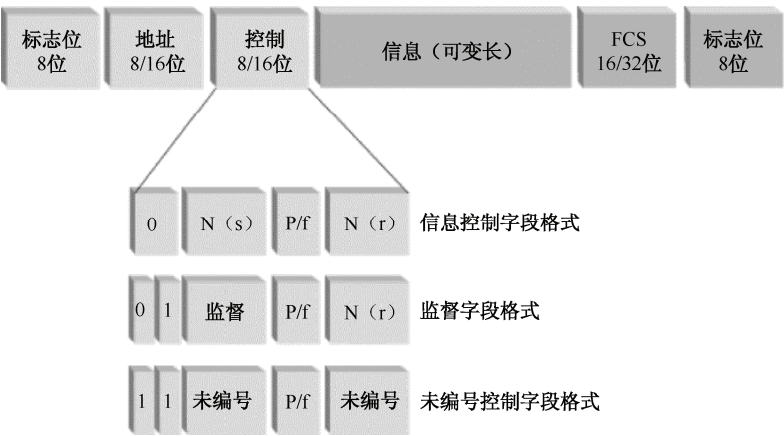


图 7.9 HDLC 帧格式

HDLC 帧中包括了以下字段：

- ▶ 标志位——1 字节（8 位）。标志位段用于比特流同步。每帧都以这个十六进制的“7E”标志位开始。只有标志位字节才在一行中有 6 位设置。如果一个字符需要传输 6 位或更多连续位，用零位插入或“比特填充”技术确保数据字符不会与标志位字符混淆。在继续将帧向更高层传输之前，接收器删除此零位。
- ▶ 地址——1 字节或 2 字节（可以根据需要进行倍数扩充）。地址段用于标识从站地址（如果是非平衡配置的话），在点对多点链路中使用。
- ▶ 控制——1 字节或 2 字节。控制段标识帧类型（监督或信息），并包含跟踪发送和接收的帧以进行应答和流控制的计数器。控制字段格式描述如下：
 - 帧 ID（1 位或 2 位）；
 - 0，信息传输（I）帧（站间的信息传输）；

- 10, 监督(S)帧(轮询、数据应答和控制);
 - 11, 未编号(U)帧(轮询、检测、站初始化和控制);
 - 监督、未编号或发送序列号(NS)(2位或3位), 根据帧的长度和用途的不同而不同;
 - P/F(1位), 表示主站的轮询或从站的最后一帧;
 - 接收序列号(NR)(3位), 由信息帧和监督帧用来应答正确接收的帧数, 对于未编号帧来说, 接收序列号是确定未编号帧用途的未编号修正函数(UMF)的一部分。
- 信息(“I”段)——可变长。如果有数据, 则信息段包含数据。尽管有些应用可以传输更大的帧, 但是对于大多数 HDLC 站来说, 该段通常不大于 256 字节或 512 字节。

HDLC 帧尾包括:

- 帧校验序列(FCS)——2 字节。FCS 段包含确保数据完整性的校验和。
- 标志位——1 字节。标志位段用来表示帧的结束, 可以开始下一个帧。

表 7.2 所示给出了 HDLC 中使用的各种命令。

表 7.2 HDLC 命令

字段类型	名 称	功 能
信息	I	交换用户数据(来自网络层的数据)
监督	RR	接收器准备就绪-肯定应答
监督	RNR	接收器未准备就绪-肯定应答
监督	REJ	拒绝-否定应答, 返回 N 帧
监督	SREJ	选择性拒绝-否定应答, 选择性转发
未编号	DISC	断开连接-终止连接
未编号	DM	断开模式-从站断开连接
未编号	FRMR	弃帧
未编号	RSET	复位
未编号	SABM	设置异步平衡模式
未编号	SARM	设置异步响应模式
未编号	SIM	设置初始化模式
未编号	SNRM	设置正常响应模式
未编号	TEST	测试
未编号	UA	未编号应答
未编号	RIM	请求初始化模式
未编号	RD	请求断开连接
未编号	UI	未编号信息
未编号	UP	未编号查询
未编号	XID	互换标识

典型的 SDLC 会话（非平衡配置）将使用以下命令与响应序列进行连接和传输信息：

- ▶ 主站用未编号帧发送设置正常响应模式（SNRM）命令；
- ▶ 从站返回未编号应答（UA）命令。
- ▶ 主站发出一个监督帧，初始化接收器就绪（RR）命令，并将 P/F 位置为 1，开始轮询从站信息。
- ▶ 从站发送信息帧，每发送一帧后就增加控制字段发送序列号（NS）；主站用信息帧做出响应。
- ▶ 主站发送一个监督帧，通过 NR 设置接收帧数，以应答最后一帧。然后主站发送未编号断开连接（DISC）命令帧。
- ▶ 从站用 UA 进行响应，有时其后还跟随一个断开模式（DM）帧。

关于命令和响应序列的描述如图 7.10 所示。

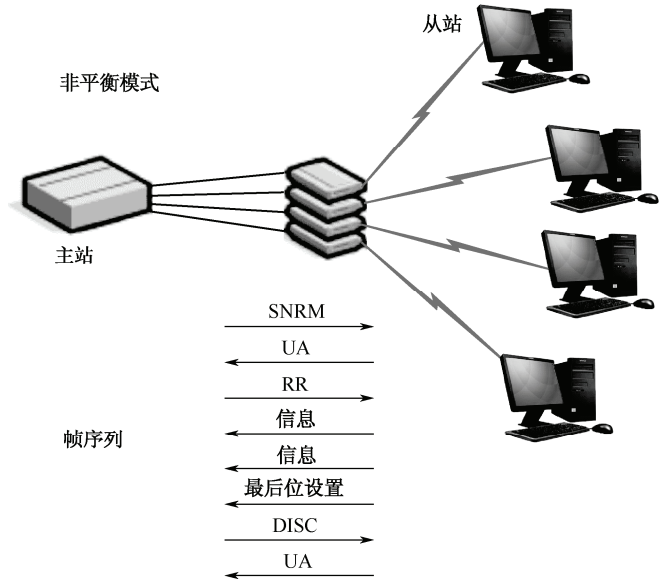


图 7.10 非平衡传输序列

典型问题解析

【问题 1】HDLC 是一种（ 1 ），采用（ 2 ）标志作为帧定界符。

- (1) a. 面向比特的同步链路控制协议 b. 面向字节计数的同步链路控制协议
 c. 面向字符的同步链路控制协议 d. 异步链路控制协议
- (2) a. 10000001 b. 01111110 c. 10101010 d. 10101011

【解析】数据链路控制协议分为面向字符和面向比特的协议两种，其中，前者以字符为传

第三节 SLIP和PPP

串行线路网际协议（SLIP）和点到点协议（PPP）是串行线路最常用的两个链路层通信协议。它们为在点到点链路上直接相连的两个设备之间提供一种传输数据报的方法。SLIP 和 PPP 协议被广泛用于将家庭或公司用户通过 ISP 方式连接到因特网。

学习目标

- ▶ 了解 SLIP 与 PPP 的区别；
- ▶ 掌握 SLIP 和 PPP 的基本概念。

关键知识点

- ▶ 用 SLIP 和 PPP 通过串行链路传输 IP 包。

SLIP

SLIP 可以追溯到 20 世纪 80 年代初，最早应用于伯克利软件分配（BSD）4.2 UNIX。它是一种简单的通过 RS-232 接口串行线路进行异步传输的 IP 数据报封装。图 7.11 中显示了其中一种典型连接。连接在因特网上的家庭或小型公司用户通常使用调制解调器通过 ISP 接入因特网服务。在用户计算机上，将 IP 包放入 SLIP（或 PPP）帧，并发送给调制解调器。调制解调器通过电话网络将信息传输给 ISP 调制解调器。ISP 调制解调器连接到一台路由器，获取由用户生成的原 IP 包，并通过因特网将其发送到正确的目的结点。

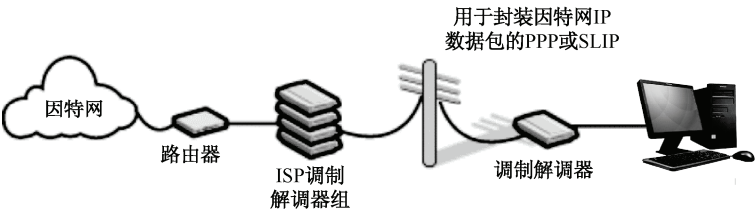


图 7.11 SLIP 接入

图 7.12 所示描述了如何将 IP 包（数据报）插入由两个十六进制的“C0”字符构成的 SLIP 帧。

用到的唯一的控制符是十六进制的“C0”。这是一个限定 SLIP 帧端点的专用字符。如果“C0”是实际数据该怎么办呢？用 SLIP 字符“DB”在数据中隐藏该字符。如果数据中出现一个“C”，就将它作为一个双字节序列“DB”“DC”来传输。如果数据中出现 SLIP“Esc”字符本身，就用“DB”“DD”序列表示。

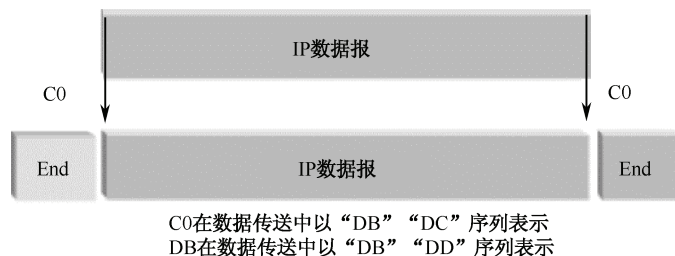


图 7.12 SLIP

SLIP 存在的缺点是：由于在 SLIP 协议中无法互换 IP 地址信息，每一端都要知道另一端的 IP 地址。由于没有可以用来将数据指向一个协议栈的“类型”段，如果要用它来传输 IP 数据报，只能用于将信息直接传送到特定的网络层栈。最后，在有噪声的电话线路上没有校验数据来进行差错检测，这意味着更高层要负责进行差错检测和恢复。

压缩的SLIP

由于 SLIP 通常在速度相对较慢的串行线路上运行，并且常常用于 Telnet 等应用，因而专门指定了一个压缩版本，叫作压缩的 SLIP (CSLIP) (RFC 1144)。Telnet 是一种交互式应用，当每次只发送几个字节时效率可能极低。例如，如果只发送 TCP/IP 会话中的 3 个字符，需要传输 43 字节（每个 IP 报头和 TCP 报头都是 20 字节）。使用 CSLIP 后，40 字节的报头开销可以缩减为 3~5 字节，IP 地址、TCP 段指示器、服务类型 (TOS) 标志都不必发送，如图 7.13 所示。

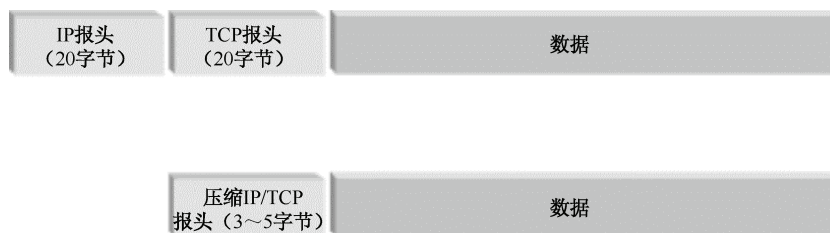


图 7.13 压缩后的 SLIP

点到点协议 (PPP)

PPP 协议用于高层协议（如 TCP/IP），在用户之间建立简单的广域网连接。它代替 SLIP 并解决了 SLIP 中的一些效率问题。PPP 既支持同步（面向字符的）传输链路，也支持异步（面向比特的）传输链路。

帧内嵌有信息，以便可以直接到达正确的数据链路层上的目的地址。PPP 帧的格式类似于上面提到的 HDLC 帧结构。根据 PPP 帧携带的是数据还是控制信息，可以将它分成 3 种格式。

第一种是 PPP 信息帧格式，其报头字段如图 7.14 所示。



图 7.14 PPP 信息帧

PPP 帧报头字段包括：

- ▶ 标志位——1 字节。用于同步比特流：“7E”。
- ▶ 地址——1 字节。地址段通常为“FF”。
- ▶ 控制——1 字节。控制段设置成“03”。
- ▶ 协议——2 字节。协议段包含高层寻址。此字段类似于（但并不一样）以太网类型段（Ethertype）。一些公用地址为：
0021H——TCP/IP；
0023H——OSI；
0027H——数字设备公司（DEC）；
002BH——Novell。
- ▶ 信息——可变。信息段包含可能由 IP 等网络层报头打头的数据。
- ▶ FCS——2 字节。FCS 段用来确保数据完整。
- ▶ 标志位——1 字节。标志位段表示帧的结束，可以开始下一帧。

PPP 帧的第二种格式是链路控制帧。链路控制协议（LCP）可以用来指定特定的数据链路选择方案，例如在异步链路上要释放哪些字符。也可以通过协商，不发送标志位或地址字节，将协议段由 2 字节减少为 1 字节，以便更有效地利用线路。图 7.15 所示给出了一个 LCP 帧的报头。



图 7.15 PPP 链路控制帧

出于与上述相同的原因，为了在 SLIP 应用中跳过控制符“C0”，必须特别考虑通过 PPP 链路发送作为数据的标志位字节。

在同步链路中，这个操作由硬件采用零位插入技术或“比特填充”技术来实现。在异步链路中，如果一个标志位字符作为数据出现，则按照 2 字节的“7D”、“5E”序列发送。换句话说，通过发送“Esc”字符“7D”加上补足第 6 位的字符“5E”，先发送要跳过的字符。补足第 6 位的“7E”标志位字符等价于“5E”。“Esc”字符作为“7D”“5D”发送。另外，ASCII 控制符（任何小于“20”的值）都按照相同方式传输。例如，让 PC 的扬声器发出蜂鸣声的 BEL 字符用十六进制表示成“07”，可以作为 2 字节序列“7D”“27”发送（同样，第 6 位是补足的）。

PPP 帧的第三种格式是网络控制帧，它是用来协商使用报头压缩等问题的。图 7.16 所示给出了一个用于此目的的帧。其协议也可以用来动态地协商链路每一端的 IP 地址。



图 7.16 PPP 网络控制帧

练习

- 对于下面的协议，找出其支持的特性：
 - PPP ——减小 TCP 头的大小
 - CSLIP ——动态地协商 IP 地址
 - SLIP ——每次只能承载一种高层协议
——其帧类似于 HDLC 帧
——不提供校验和
——既支持异步链路，也支持同步链路
- PPP 的哪些特性比 SLIP 能提供更具活力的服务？

补充练习

从因特网上下载 RFC1144，研究讨论 SLIP、PPP 协议。

第四节 连接到因特网

在广域网连网中经常用到数据链路层的广域网协议以及相关的概念。移动宽带技术也称为无线广域网（WWAN）技术，它通过便携设备提供无线高速因特网访问。任何位置，只要具有可用于移动因特网连接的基于 GSM 或 CDMA 的移动电话服务，使用移动宽带均可将它连接到因特网。本节将讨论这些概念的应用方法。

学习目标

- ▶ 了解数据链路层协议和物理层协议是如何协同工作的；
- ▶ 掌握将移动宽带连接到因特网的方法。

关键知识点

- ▶ 很多数据链路层协议和物理层协议是通过广域网传输信息所必需的。

连接到因特网可能用到的协议

为了说明在一个网络中使用了多少种物理层协议和数据链路层协议，并解释在网络中如何使用面向连接和无连接两种协议，下面考虑图 7.17 所示的因特网连接。

如果一个用户正在访问一个远程 Web 站点，可能会用到图 7.17 所示的协议。在客户机工作站上，按照因特网方式向一台远程 Web 服务器发送 IP 包。如果要将此信息从信源（客户机）传输到信宿（服务器），可能要用到很多不同的协议。注意，在网络层及其以上的层中，协议栈实质上是相同的。在更低的层中，每条链路可能需要不同的物理层、数据链路层协议，如图 7.17 中所示。

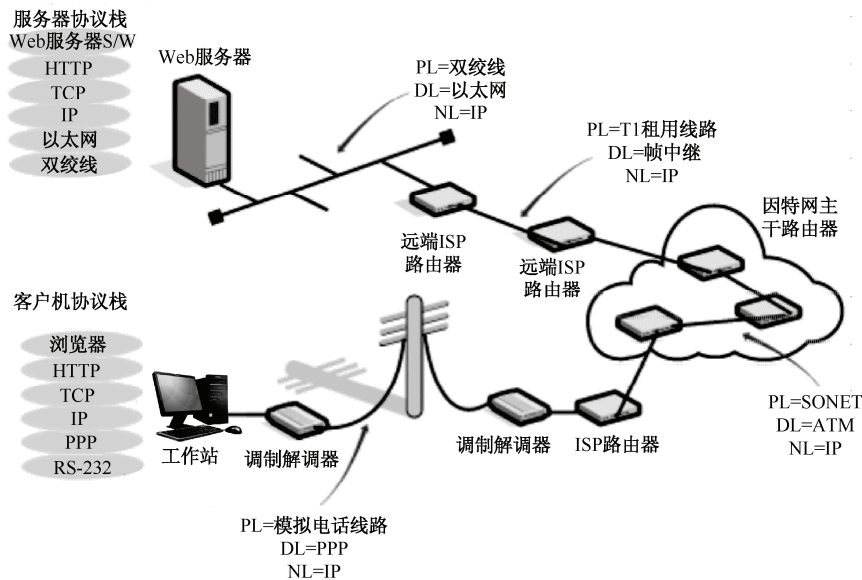


图 7.17 因特网连接

工作站首先通过一条模拟电话线路发送 IP 包。为了做到这一点，将 IP 包放入一个 PPP 帧，并传输到 ISP 的一台路由器。路由器收到 IP 包后，将其封装在另一个数据链路层协议（如 ATM）之中。在本示例中，ATM 在物理层用光纤技术（SONET）通过光纤链路传输信息。

信息（IP 包）通过因特网主干网进行路由，直到它到达远端的 ISP，Web 服务器在那里接入到因特网。在本示例中，目的网络利用数据链路层的帧中继和物理层的 T1 连接到因特网。IP 包通过帧中继链路到达连接在 Web 服务器所属的局域网中的一台路由器。

图 7.17 所示的目的网络是一个用双绞线组建的以太网。路由器收到 IP 包后，将其放入以太网帧，并发送到 Web 服务器。然后，由 Web 服务器处理 IP 包、TCP 消息和 HTTP Web 页请求等，并做出应答。

利用移动宽带连接到因特网的配置操作

目前,大多数 2G、2.5G 和 3G 移动电话和移动网络均提供移动宽带服务。使用移动宽带连接到因特网,即使用户从一个地方换到另一个地方,也可以保持与因特网的连接,因此受到了广大用户的青睐。

若要使用移动宽带连接到因特网,需要有移动宽带数据卡(PC 卡、USB 卡、Express Card 或嵌入式便携式计算机模块),安装了正确的驱动程序,并订购了移动宽带服务。数据卡是一个可提供移动宽带因特网访问的小卡片或小型设备。可拆卸数据卡可以是 PC 卡、USB 卡、USB 硬件保护装置,或 Express Card。数据卡也可以是嵌入式便携式计算机模块。

获得上述这些必要设备和移动宽带服务之后,将数据卡插入便携式计算机,并确保激活用户身份模块(SIM)和 SIM 的移动宽带服务。此外,还应确保无线开关(如果有)已打开。无线开关通常位于便携式计算机的正面或侧面。然后,按照以下步骤进行配置操作。

第一次设置移动宽带连接 单击打开“连接到网络”,用鼠标右键单击移动宽带网络,然后单击“连接”;如果出现提示信息,按要求输入访问点名称(APN)或访问字符串、用户名和密码(可能在设备或移动宽带服务附带的信息中有这些内容);更改所有想要更改的自动连接设置,然后单击“继续”。

更改移动宽带连接配置文件属性(APN、访问字符串、用户名、密码和自动连接设置) 单击打开“连接到网络”,用鼠标右键单击移动宽带网络,再单击“属性”,然后单击“配置文件”选项卡。注意:如果“配置文件”选项卡不可用,参照“第一次设置移动宽带连接”的步骤。键入访问点名称(APN)或访问字符串、用户名和密码(可以在设备或移动宽带服务附带的信息中找到这些内容)。

在“自动连接”下,选择以下选项之一:

- ▶ 始终自动连接;
- ▶ 除非正在漫游,否则自动连接;
- ▶ 从不自动连接;
- ▶ 如果计算机已通过局域网(LAN)连接到因特网,并且希望防止 Windows 自动建立连接,请选中“仅当没有其他备用因特网连接可用时自动连接”复选框;
- ▶ 单击“确定”。

更改移动宽带连接漫游属性(网络选择) 单击打开“连接到网络”,用鼠标右键单击移动宽带网络,再单击“属性”,然后单击“漫游”选项卡(仅当正在漫游时,“漫游”选项卡才可用)。若要允许 Windows 自动选择网络,选择“自动选择(推荐)”。若要指定网络,从列表中选择网络名称,然后单击“注册”。注意:如果移动宽带连接管理器无法连接到所指定的网络,它将自动还原为“自动选择”。

使用移动宽带连接到因特网 单击打开“连接到网络”;单击移动宽带网络的名称,然后单击“连接”;键入移动宽带 PIN(如有必要),然后按 Enter 键。

断开移动宽带因特网连接 单击打开“连接到网络”；单击移动宽带网络的名称，然后单击“断开”。

练习

1. 画一张网络图，显示两个局域网是如何使用 HDLC 协议通过卫星网络连接到一起的，并显示客户机协议栈、服务器协议栈、广域网数据链路协议和物理层协议等。

2. 接入 Internet 的方式有多种，下面关于各种接入方式的描述中不正确的是（ ）。

- a. 以终端方式入网，不需要 IP 地址
- b. 通过 PPP 拨号方式接入，需要有固定的 IP 地址
- c. 通过代理服务器接入多台主机可以共享 1 个 IP 地址
- d. 通过局域网接入可以有固定的 IP 地址，也可以用动态分配的 IP 地址

【解答提示】 本题考查对用户接入 Internet 的常见方式的了解，由于终端仅仅共享同一台主机的信息，所以不需要单独的 IP 地址。通过代理服务器接入方式可以多台主机共享代理服务器的 IP 地址，通过局域网方式接入可以获得固定的 IP 地址，也可以是动态分配的方式。这个问题其实可以从平时设置网卡的 IP 地址的界面看到，可以自动获得，也可以指定 IP 地址。使用 PPP 拨号也可以使用动态分配的方式获得 IP，如常见的通过电话线拨号等。所以，参考答案是选项 b。

补充练习

查找有关本节所介绍主题的其他信息。从 RFC 中找出进一步描述下面这些协议的技术细节：

- a. PPP
- b. SLIP
- c. CSLIP

本章小结

在广域网中，信息是利用不同类型的物理层协议和数据链路层协议传输的。数据链路层主要有组帧、流量控制、差错控制、链路访问控制、物理寻址以及链路管理等功能。一些数据链路层协议是面向连接的，而另外一些是无连接的。例如，以太网是无连接局域网协议，而帧中继是面向连接的广域网协议。无连接的协议和面向连接的协议可用在网络的不同部分，但单一 Web 页请求可以通过由两者共同构成的网络进行传输。

本章介绍了数据链路控制机制、广域网中的一些常用协议。HDLC 和 HDLC 子集（如 SDLC、LAPB 和 LAPD 等）用来通过物理层服务，从一台物理设备向另一台物理设备发送信息。

小测验

1. 当信息在网络中从信源传输到信宿时, 物理层保持不变。判断对错。
2. 当信息在网络中从信源传输到信宿时, 数据链路层保持不变。判断对错。
3. SDLC 是 HDLC 协议的子集。判断对错。
4. 在通信比特流中, 用“Esc”字符来提供数据的透明度。判断对错。
5. SLIP 是比 PPP 更有效的协议。判断对错。
6. “无连接”这个术语只适用于 OSI 参考模型的第 2 层和第 3 层。判断对错。
7. 包交换网络和电路交换网络之间最主要的区别是 ():
 - a. 电路交换网络是点到点连接
 - b. 包交换网络处理数据包, 而电路交换网络处理线路
 - c. 数据包通过包交换网络传输的路径一般是相同的, 而数据包通过电路交换网络的路径从来都不一样
 - d. 数据包通过包交换网络的路径可以是不同的, 而对于会话长度来说, 通过电路交换网络的路径总是相同的
8. 物理层协议的目的是 ():
 - a. 将信息传送到正确进程
 - b. 将数据包传输到终端结点
 - c. 将帧传送到下一个结点
 - d. 通过物理链路传输比特流
9. 数据链路层协议的目的是 ():
 - a. 将信息传送到正确的进程
 - b. 将数据包传送到终端结点
 - c. 将帧传送到下一个结点
 - d. 通过物理链路传输比特流
10. 若与某用户通过卫星链路通信时传播延迟为 270 ms, 假设数据速率是 64 kb/s, 帧长为 4 000 bit, 若采用停等流控协议通信, 则最大链路利用率为 (1); 若采用后退 N 帧 ARQ 协议通信, 发送窗口为 8, 则最大链路利用率可以达到 (2)。

(1) a. 0.104 b. 0.116 c. 0.188 d. 0.231

(2) a. 0.416 b. 0.464 c. 0.752 d. 0.832

【解答提示】停等协议可以看作滑动窗口协议的特例, 即发送窗口和接收窗口都是 1。在停等协议的控制下, 其发送数据的方式为在一个 T 时间内 (数据的发送时间及两倍的端到端的延迟时间之和), 满负荷的数据传输应该为 $64\,000 \times T$ bit, 而实际的有效数据为 4 000 bit, 所以链路的最大利用率为 $4\,000 / (4\,000 + 64\,000 \times 0.54) = 0.104$ 。

对于后退 N 帧的 ARQ 具有“推倒重来”的特征, 所以称其为“后退 N 步 ARQ 协议”。即当出现差错必须重传时要向后回退 N 个帧, 然后开始重传。其发送窗口为 8, 而 $8 \times 4\,000 / 64\,000 < 2 \times 0.270$ 。即可以发送 8×4000 , 所以最大利用率为 $0.104 \times 8 = 0.832$ 。

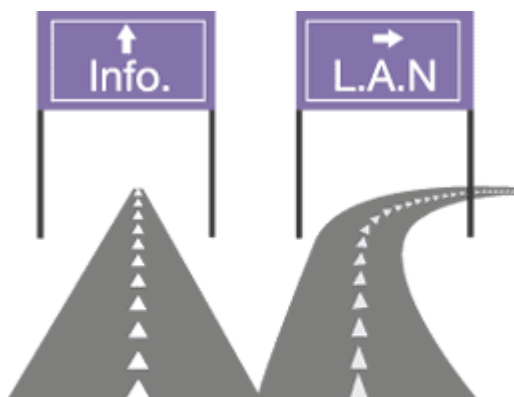
参考答案是: (1) 选项 a; (2) 选项 d。



第八章

高层广域网协议

- 1 ISDN
- 2 帧中继
- 3 X.25
- 4 基于广域网技术的通信融合



概 述

广域网通信系统一般基于公用的面向连接的服务。无连接服务（如 IP）不需要为通信会话建立路径。许多数据网络都是这样的：数据包在任何时间通过任何可用的路径从一端传到另一端。在连接的另一端，数据包经过重组，以恢复原始信息。数据包可以通过各种不同的路由而在不同的时间到达，这并不表示其他应用（如语音传输）可以容许这样的时间延迟。当运营商网络的核心主干网速度提高的时候，延迟就不再是问题了。

在广域网连网中，网络到网络之间传输信息的趋势是：在数据链路层是面向连接的服务，在网络层是无连接的服务。本章将介绍通常用来在广域范围内传输信息的面向连接的交换服务。这些服务包括 ISDN、帧中继和 X.25 等。

ISDN 分为窄带 ISDN (N-ISDN) 和宽带 ISDN (B-ISDN)。N-ISDN 是 20 世纪 70 年代开发的网络技术，目的是以数字系统代替模拟电话系统，把音频、视频和数据业务放在一个网络上统一传输。20 世纪 80 年代，ITU 成立了专门研究组织，开发 B-ISDN 技术，后来在 I.321 建议中提出了 B-ISDN 体系结构和基于 ATM 的技术。

帧中继 (FR) 工作在 OSI 参考模型的低两层，即物理层和数据链路层。FR 在第 2 层建立虚代理，用帧方式承载数据业务，因而第 3 层被简化掉了。同时，FR 的帧层比较简单，只做检错，不再重传；没有滑动窗口式的流控，只有拥塞控制。FR 可以有效地处理突发性数据，当数据业务量为突发性数据时，由于 FR 具有动态分配的功能，允许用户的数据速率在一定范围内变化；但它不适于对延迟较敏感的应用（如音频、视频），因为无法保证可靠提交。FR 的速率可达 64 kb/s~2 Mb/s，当参与通信的各方多于两个时，使用 FR 是一种较好的解决方案。

X.25 建议是由 CCITT 提出的访问分组交换网的协议标准，这个标准包含物理层、数据链路层和分组层 3 个协议，分别对应 OSI 参考模型的低 3 层。

本章还将讨论广域网 (WAN) 技术如何支持并实现通信融合，将语音、视频和数据等通过相同的物理网络进行传输。承载这些融合业务的广域网技术包括帧中继、DSL 与 ISDN 等。

第一节 ISDN

国际上的主要通信基础设施一直是电话系统，这种系统采用模拟方式传输语音信号，而对于数据、传真、电视等的传输则不能提供合适的服务。用先进的数字系统取代世界范围内的电话系统是一项非常重要的任务。综合业务数字网 (ISDN) 的主要目标，就是提供适合于语音和非语音的综合通信系统来代替模拟电话系统。本章首先讨论 ISDN，是因为它的应用范围非常广泛，且提供了一个理解其他集成多种服务的广域网技术框架。

学习目标

- 了解 ISDN 协议和服务，以及 ISDN-BRI 与 ISDN-PRI 之间的区别；

- ▶ 了解 ISDN 协议层的名称, 以及 ISDN 协议栈各层的功能;
- ▶ 掌握将设备与 ISDN 网络进行接口的不同方法, 将 PC 和电话机连接到 ISDN 网络;
- ▶ 掌握如何用 ISDN 提供远程网络连接和冗余。

关键知识点

- ▶ ISDN 提供了对多种用户服务的传输, ISDN 协议可以传输多种类型的服务信息;
- ▶ 在计算机网络中, ISDN 既可以用作主要路由, 又可以用作备用路由。

ISDN的概念

ISDN 基本上是对电话系统重新设计后而建立的一种综合业务数字通信系统。1984 年 10 月, CCITT 推荐的 CCITT ISDN 标准对 ISDN 给出的定义是: “ISDN 是由综合数据电话网发展起来的一个网络, 它提供端到端的数据连接以支持广泛的服务, 包括语音和非语音的。用户的访问是通过少量、多用途的用户网络标准来实现的”。

由于模拟传输组件和交换组件已被高级的数字组件所取代, 因此需要一套新的协议, 以充分发挥数字传输组件的潜能。ISDN 为这些组件与协议的开发提供了一个框架。

综合数字网络 (IDN)

前面已经介绍了电话公司如何完成语音网络从模拟向数字的转换, 也已经了解到它们是如何使数据通信直接访问综合数字网络(IDN)的。在北美, 它们先是提供 DDS, 后来提供 T-Carrier 服务; 在别的地区, 它们也提供相应的服务。同时也已经看到了这些服务的局限性。ISDN 代表了从面向语音的 IDN 向提供多功能用途(语音、数据、视频、传真和其他各种形式的电子通信)的网络的一种逻辑转移。图 8.1 所示给出了 ISDN 可以传输的各类信息。

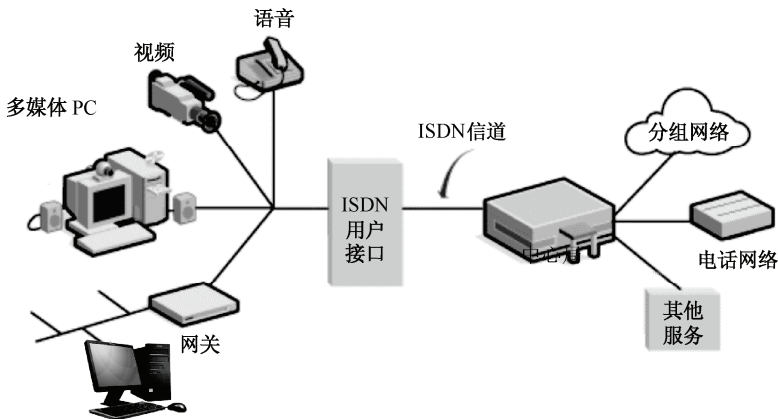


图 8.1 ISDN 网络

ISDN 有两个主要特征：

- 是一种捆绑式的服务，该服务通过世界各地的电话交换网提供语音、数据及其他信息的传输。
- 是一组协议，定义了到网络的标准接口，它使许多供应商都可以提供硬件和软件，以利用协议所提供的服务。

ISDN 服务

可以像订阅语音服务一样订阅 ISDN。当然，此时端局必须提供 ISDN。ISDN 的普及是一个渐进的过程，因此仅有一部分端局可以提供 ISDN。

公用交换网络采用 SS7 信令协议提供的 CCS（公用信道信令），SS7 是用于电信主干网络的国际通用的高速、包交换协议。ISDN 利用了该性能，其所有信令都是频带外的，即 CCS。

ISDN 提供了对数字信道的访问。用户可以使用的信道有 3 类，如表 8.1 所示。

表 8.1 ISDN 访问

信 道		速率/（kb/s）	应 用
D		16	控制信令
B		64	数据、语音、传真、低速视频
H	H0	384	主干网络
	H1	1536	实时视频
	H2	1920	多路复用

- D 信道——信道速率为 16 kb/s。这是为 CCS 提供的，也可以用于数据。每个 D 信道与 1 个或多个其他类型的信道结合使用。例如，它可用于告诉电话公司其他的信道将连到哪一个 ISDN 用户。CCS 免除了要区分信号与数据的问题。它通过使用一条信道为其他的数据通道发送信令来节省带宽。D 信道也可用来传输一些要求比特速率较低的数据。
- B 信道——信道速率为 64 kb/s，用于数据、语音、传真、低速扫描视频等。低速扫描视频指的是图片之间不需要平滑过渡的视频应用，如传输演示幻灯片。
- H 信道——信道速率为 384 kb/s（H0）、1 536 kb/s（H1）或 1 920 kb/s（H2），用于主干网络及实时视频等大带宽应用。用户可以用与 T-Carrier 信道相同的方式来对它们进行多路复用。

这些访问速率通常是指窄带 ISDN 速率。宽带 ISDN 是运行速率为 154 Mb/s 及更高的 ISDN。值得注意的是，ISDN 信道的基本构建块为数字信号 0 级（DS-0）：B 信道=1×DS-0，H0 信道=6×DS-0，H1=24×DS-0，H2=30×DS-0。D 信道用于控制，通常不承载数据。

根据需要，ISDN 提供了两种可供选择的基本服务。当然，就像需要不仅一条电话线路一样，也会需要不仅一种服务。基本的服务包括：

- ▶ 基速率服务——这种服务提供 1 个 D 信道和 2 个 B 信道，有时被称为“2B+D”。虽然这种服务提供了 144 kb/s 的可用带宽，但组帧、同步及其他开销使基速率服务的总比特速率下降到了 128 kb/s。
- ▶ 主速率服务——这种服务的带宽介于北美的 T1 (1.544 Mb/s) 与其他地区（包括日本）的 E1 (2.048 Mb/s) 之间。它包括 1 个可选的 D 信道、若干个 B 信道和 H 信道，它们组合时不超过包括必要开销在内的允许带宽。

选择了所需的服务后，可以通过以下几种方式建立信道的连接：

- ▶ 半永久式——由优先级安排建立，ISDN 相当于专线。
- ▶ 电路交换——这与现今公用交换网络上使用调制解调器与另一用户建立连接相似。一个重要区别在于电路交换用 D 信道来传输建立和终止呼叫所需的控制信息。
- ▶ 包交换——这是指 X.25 包交换。利用软件可以像访问一般的 X.25 网络那样访问 ISDN X.25 网络。

ISDN 也提供了一些以前的数据通信用户不能获得的服务，其中许多服务与向语音网络用户提供的服务类似。例如，ISDN 可提供入局呼叫、块入局呼叫等用户数量，可向另一 ISDN 用户发送呼叫以及连接多个 ISDN 用户（如会议呼叫）等。

ISDN 协议

人们开发了一系列标准，用以描述通过可交换的 ISDN 网络传输信息的协议和功能。

ISDN 协议栈结构

ISDN 是由 ITU-T 制定的一组标准所定义的，如图 8.2 所示。这些标准称为 I 系列推荐标准，分为 6 个部分，共 75 个标准。这 6 个部分包括 ISDN 一般结构、服务能力、网络总体概貌和功能、ISDN 用户-网络接口、网际接口和网络维护原则。详细描述这些标准显然超出了本书的范围，在此仅讨论 ISDN 用户网络界面的关键特征和已经采用的一些重要通信协议。

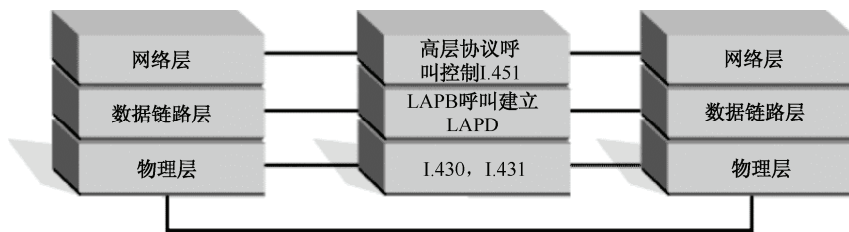


图 8.2 ISDN 协议栈结构

由于 ISDN 使用 CCS（在 D 信道上），因此有两组协议：一组用于 CCS，另一组用于数据（分别是 B 信道和 H 信道）。这些层及其相关协议介绍如下：

- ▶ 物理层——ITU-T I.430（B 信道）与 ITU-T I.431（H 信道）定义了至 ISDN 设备的物

理接口，如电缆和电信号等；

- ▶ 数据链路层——基于 HDLC，D 信道链路访问过程（LAPD）与均衡链路访问过程（LAPB）规范了 ISDN 帧格式；
- ▶ 网络层——ITU-T I.451 用于 SS7 交换，X.25 用于包交换数据，以建立设备间的逻辑连接。

ITU-T 将 ISDN 协议进行了如下分组：

- ▶ E 系列——E 系列协议定义了 ISDN 的公用电话交换网（PSTN）标准，如 ITU-T 国际电信编号标准 E.164；
- ▶ I 系列——I 系列协议阐述了概念、术语和一般方法，其中 I.430 用于 ISDN-BRI 物理层规范，I.431 用于 ISDN-PRI 物理层规范；
- ▶ Q 系列——Q 系列协议阐述了交换和信令如何操作。Q.920 和 Q.921 描述了数据链路层的用户网络接口（UNI），而 Q.930 和 Q.931 描述了 ISDN 第三层信令标准。Q.931 也称为 I.451。

到 ISDN 的物理连接 物理层标准描述了将物理层（OSI 第 1 层）连接到 ISDN 的协议，这些标准规定了分别应用于基本服务界面和主要服务界面的复用帧格式。此外，物理层协议还定义了类似于过去连接电话听筒的连接器的 RJ-45。连接 DTE 到 ISDN 的电缆有 8 根。

数据链路层呼叫建立，LAPD D 信道链路访问过程（LAPD）定义了用于 D 信道上、用于与电话公司的 SS7 网络进行接口的协议，以实现呼叫建立和其他信令功能。图 8.3 描述了 LAPD 的帧格式。它是 ISDN 的数据链路帧格式，是由 LAPB 派生出来的。LAPB 是 X.25 使用的链路层协议。

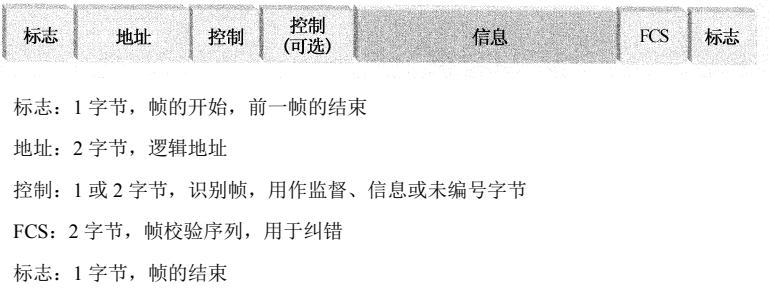


图 8.3 LAPD 帧格式

网络层呼叫控制，I.451

I.451 定义了一个用来控制交换和其他 SS7 信令的高层协议。

网络层包交换，X.25

ISDN 定义了 X.25，以它作为网络层包交换的协议。

ISDN 用户前端设备

ISDN 设备指 ISDN 网维用户提供 ISDN 业务所需要的各类设备,包括 ISDN 交换机、ISDN 用户交换机、网络终端、接入单元和各类 ISDN 终端及终端适配器。在此主要介绍 ISDN 用户前端设备。ISDN 定义了一系列术语描述在用户前端使用的各种不同的设备,并进一步定义了到 ISDN 的接口。图 8.4 所示给出了所用到的各种不同的设备。

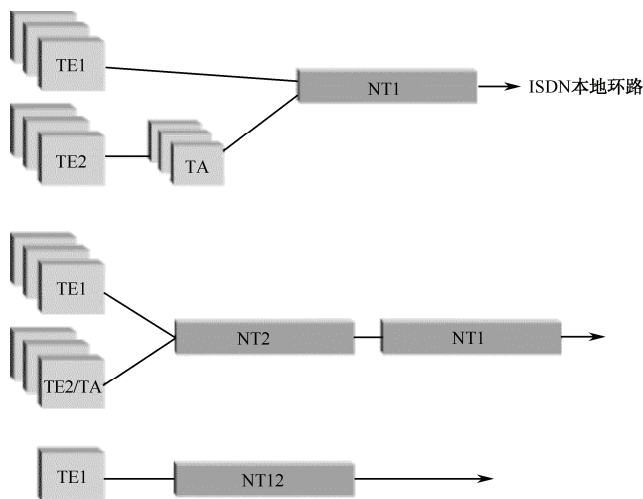


图 8.4 ISDN 连接

ISDN 的各种用户前端设备 (CPE) 有:

- ▶ 终端设备类型 1 (TE1) —— 是指支持 I.430 ISDN 帧协议的 DTE。TE1 包括计算机和电话。
- ▶ 终端设备类型 2 (TE2) —— 如果一个 DTE 不是 TE1, 那么它就是 TE2, 它需要通过终端适配器连接到 ISDN。
- ▶ 终端适配器 (TA) —— 用于将一个 TE2 连接到一个 NT1 或 NT2。
- ▶ NT1 —— 这种设备可以将 ISDN 本地设备 TE1 和非 ISDN 设备 TE2 (后者通过 TA) 复用到 ISDN 本地环路上。它运行于 OSI 的第 1 层。
- ▶ NT2 —— 一个运行于网络层 (OSI 第 3 层) 的智能设备。NT2 通过 NT1 连接到 ISDN 本地环路, 可以实现 TE1/TE2 的交换和多路复用。
- ▶ NT12 —— 这种网络终端设备将 NT1 和 NT2 的功能合并成一个单一的组。

图 8.5 显示了如何使用 TA 将电话和个人计算机 (PC) 连接到 ISDN 网络上。如果语音电话不是激活的, 那么 PC 可以用全部 128 kb/s 的带宽传输信息。当电话呼叫被激活之后, 128 kb/s 的带宽就由数据传输和语音传输共同分享。

ISDN 参考点

ISDN 参考点主要指在两个 ISDN 设备（如 TE1 和 TE2）之间的一个 ISDN 连接或接口。基速率接口（BRI）和主速率接口（PRI）是众多 ISDN 规范接口中的两种。作为“用户至网络”的接口，BRI 和 PRI 指的是用户数据进入 ISDN 网络的点。它们通过标准出口将用户前端设备（如 PBX 或电话）连接至网络。

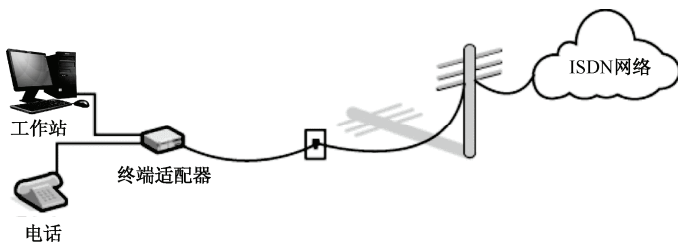


图 8.5 典型 ISDN 连接

ISDN 规范定义了其他几个接口参考点，它们是网络实体之间概念上和一般物理上的连接。这些参考点提供了一个便捷方式来讨论 ISDN 网络上的各点或确定位置。这些参考点如图 8.6 所示，主要包括：

- ▶ R——位于非 ISDN 设备与终端适配卡（TA）之间的参考点；
- ▶ S——位于 NT2 与 TE1 之间（或 NT2 与 TA 之间）的参考点；
- ▶ T——位于 NT1 与 NT2 之间的参考点；
- ▶ U——位于 NT1 设备与 CO 之间的参考点（在北美，“U”表示本地环路）；
- ▶ V——本地环路的通信公司端与交换设备之间的参考点。

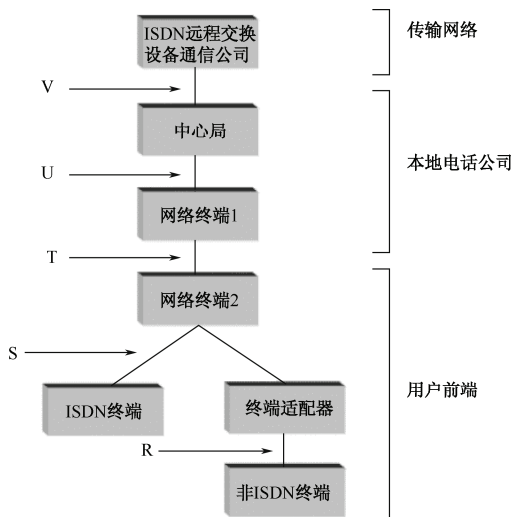


图 8.6 ISDN 参考点

ISDN 的实现

ISDN 为用户提供了一种连接电信用户和远程电信支局到企业 LAN 或因特网的高效、经济的方案,同时还提供了如拨号备份和负载平衡等其他选项,因此 ISDN 应用范围很广。数字信号的质量、可靠性、灵活性和快速呼叫建立的特性,使得 ISDN 成为一种数据网络应用中的先进技术。这些应用包括:

- ▶ 基本网络连接;
- ▶ 远程局间的网络互连;
- ▶ 按需拨号远程连网;
- ▶ 网络冗余和溢出。

基本网络连接

ISDN 经常用来作为家庭和小型公司的基本连接,其中典型的情况是通过公用交换网络将基于局域网的计算机和电话线连接到其他网络上,如图 8.7 所示。

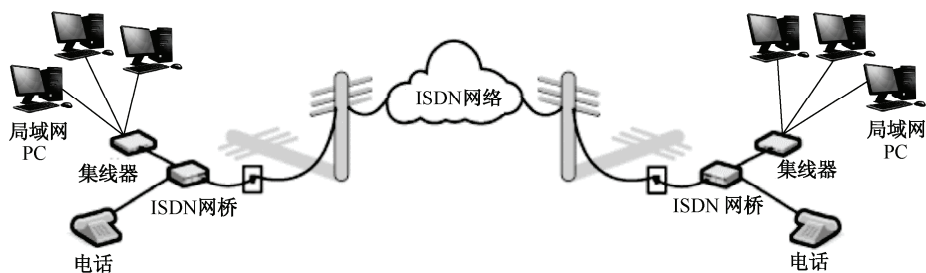


图 8.7 ISDN 基本连接

远程局间的网络互连

在这种配置中,用户经过模拟电话线路、56 kb/s 交换链路或 ISDN BRI,从家里或者其他地方向远程访问服务器发出连接至企业网主机的呼叫请求,如图 8.8 所示。远程服务器使得远程用户能够像本地局域网用户那样,享有所有的服务及特权。

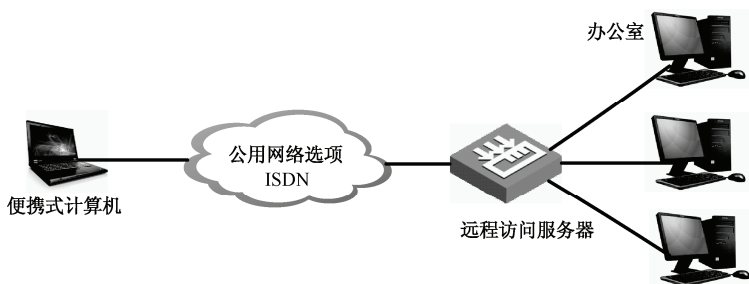


图 8.8 远程局间连接

假设模拟电话线路及双方的调制解调器工作速率为 28.8kb/s，要发送 5 MB 的文件，则不同传输方式的传输速率如表 8.2 所示。

表 8.2 不同传输方式下的传输速率

传输方式	传输速率/（kb/s）	花费时间/min
Modem	28.8	2.90
Switched-56	56	1.48
ISDN	128	0.65

远程局网络为那些需要经常出差、在家中工作或者需要在下班后访问办公室的公司职员开辟了通信的新途径。在中心站点，互连网络设备接收来自各地的通过拨号线路发出的入局数据呼叫，并通过登录规程提供对呼叫方的安全鉴定与认证，并在公司网络上发送这些呼叫。

另外，越来越多的中、小型远程局也开始连接到主干线，以便访问、存取集中式信息或者交换电子邮件。这些远程站点用户数量较少，通常并不保证他们有到中心站点的租用专线。远程局的用户可能有一个本地局域网，可以共享打印机、传真机和应用程序服务器等资源。更小一些的远程局可能仅为个别用户提供访问公司网络资源的拨号服务。在两种情况中，不管是交换电子邮件，还是从中心计算机中检索信息，均至少需要一个暂时的广域网连接。ISDN 和其他的交换服务都很适合远程配置，这是因为它们仅在需要传输信息时才提供电话线路。并且，有些互连网络设施有智能功能，能将连接安排在通话优惠的时段内进行，进一步节约了开销。

按需拨号远程连网

需要访问公司局域网的远程用户，通过由本地局域网站点提供的网络链路到达该公司局域网可能会更经济一些。例如，为了节约远程访问费用，出差人员可以拨号进入本地局域网，并通过该网络向最终目的端发送信息，该目的端可能位于其他地方甚至另外一个国家。本地局域网与目的局域网间的连接可以是租用专线，也可以是拨号方式，这要取决于这两个局域网之间的通信模式。在拨号方式下，本地局域网可以随时对连接进行初始化，并集合多条线路，以提供适当水平的服务。

通过 ISDN 快速呼叫建立特性，客户可以在一独立的会话期间随时拨号到局域网进行远程访问。当客户端不需要与目的局域网进行通信时，可以断开一个 ISDN 广域网链路，这个断开操作对正在运行的应用程序是透明的，如此节约了拨号费用。通过一个公认的“欺骗”进程，应用程序仍在继续运行，看起来好像它与局域网的逻辑链路仍然存在。然后，当需要与局域网通信时，客户端可自动重新建立一个拨号会话，在广域网上传送数据通信流。

网络冗余和溢出

任务紧急的应用程序具有很高的可靠性与有效性需求，这使得容错性能成为网络设计中的一个重要准则。冗余通常是实现容错的首选方式。例如，很多公司使用租用线路作为广域网主

连接, 以确保能连续获得一条数据通路, 同时又租用另外一条线路作为备份。然而, 这种方案实现起来非常昂贵, 这是由于备份线路仅在主线路失灵或者出现故障的情况下才使用, 而无论其是否真正使用, 公司都要为该冗余线路交付租金。

拨号连接 (比如一条 ISDN BRI 线路) 是较为合理的主线路备份解决方案。如图 8.9 所示, 当主线路失灵或者出现故障时, 拨号线路由中心互连网络设备自动激活, 在该过程中, 不会出现明显的网络服务降级。若主线路是运行于 T1 或 E1 速率的高速信道, 则几个较低速率的拨号线路可以聚集起来, 实现同等的高带宽容量。

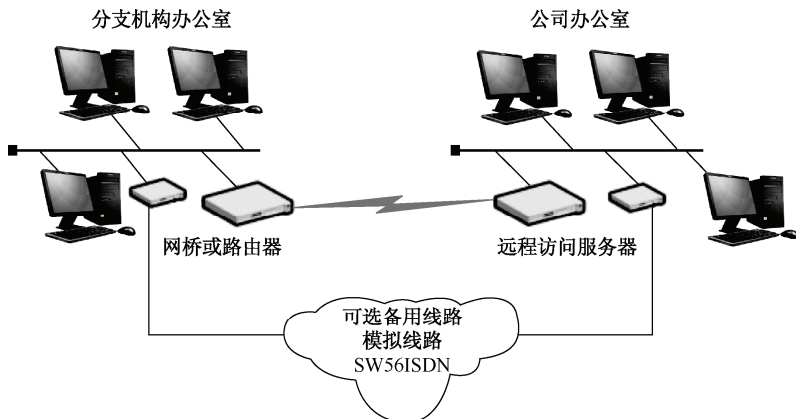


图 8.9 网络冗余

当数据负载增加时, ISDN 也可以用来传送溢出的数据流。当主线路达到最大容量时, 网桥或路由器可以检测到带宽瓶颈, 实时拨通 1 条或者多条 ISDN 电路, 通过 B 信道来路由溢出的通信流量。

典型问题解析

【问题 1】 N-ISDN 是在 (1) 的基础上建立的网络, 能够提供的最高速率是 (2)。网络提供基本接口速率时, 传输声音协议使用 (3)。一路话音占用的数据传输速率是 (4), 占用户可用带宽的比例是 (5)。

- | | | | |
|--------------|------------|--------------|-------------|
| (1) a. 电话网 | b. 有线电视网 | c. 公共数据网 | d. 接入网 |
| (2) a. 基本速率 | b. 一次群速率 | c. 光纤能够达到的速率 | d. D 通路 |
| (3) a. A 通路 | b. B 通路 | c. C 通路 | d. 任意速率 |
| (4) a. 3 kHz | b. 3.4 kHz | c. 64 kb/s | d. 128 kb/s |
| (5) a. 25% | b. 44% | c. 50% | d. 88% |

【解析】 ISDN 俗称“一线通”。目前电话网交换和中继已经实现了数字化, 即电话局和电话局之间从传输到交换分别实现了数字化。但是从电话局到用户之间还是模拟的, 为用户提供的是电话单纯业务。ISDN 是电话局与用户之间仍然采用一对铜线也能够做到数字化, 并为用

户提供多种业务。除了拨打电话外,还可以提供可视电话、数据通信及会议电视等多种业务,从而将电话、传真、数据、图像等多种业务综合在一个统一的数字网络中传输和处理。ISDN可分为窄带 ISDN (N-ISDN) 和宽带 ISDN (B-ISDN) 两种。其中,窄带 ISDN 是由综合数字电话网发展起来的网络,它能提供端到端的数字连接,已支持广泛的服务,是将数据、声音和视频信号集成进一根数字电话线的技术。

从以上分析可知,(1)的参考答案为选项 a,即 N-ISDN 是在电话网上建立起来的网络。

N-ISDN 的服务由两类信道构成:一是传输数据的承载信道(又称为 B 信道,每个信道 64 kb/s);二是用于处理管理信号及调用控制的信令信道(又称为 D 信道,每个信道 16 kb/s 或 64 kb/s)。然后,将这两类信道进行组合形成两种不同的 ISDN 服务(交换设备和用户设备之间的两种数字信道接口),即基速率接口 (ISDN BRI) 和主速率接口 (ISDN PRI),又称为“一次群速率接口”,两种接口都能同时提供语音和数据服务。

基速率接口一般由 2B+D 组成,即由两个 64 kb/s 的 B 信道和一个 16 kb/s 的 D 信道组成,常用于小型办公室与家庭。B 信道主要用于承载数字数据、PCM 编码数字语音等;D 信道可传输低速率数据,也可以传输信令。

主速率接口亦称基群速率接口、一次群速率接口,即 (30B+D)。B 信道主要用于传输用户信息流,D 信道主要用于传送电路交换的信令信息,也用于传送分组交换的数据信息。基群速率接口由 30 个 64 kb/s 的 B 信道和一个 16 kb/s 的 D 信道组成。

N-ISDN 定义了物理层、数据链路层和网络层的部分功能。其中,在物理层建立了一个 64 kb/s 的线路交换连接,还提供了网络终端适配器的网络接口;在数据链路层则使用了 LAPD 来管理所有的控制信令;网络层处理所有的线路交换机分组交换服务。

N-ISDN 的缺点是数据速率低,不适合视频信息等需要高端口的应用,而且它仍然是一种基于电路交换网的技术。因此,ITU-T 又专门开发了宽带 ISDN 技术,其关键是异步传输模式 (ATM)。它采用 5 类双绞线或光纤,数据速率可达 155 Mb/s,可以传输无压缩的高清晰度电视 (HTV)。

从以上分析可知:(2)的参考答案是选项 b;(3)中未给出数值答案选项,可按概念选择一次群速率,因而参考答案为选项 b;(4)的参考答案为选项 c;(5)的参考答案为选项 c。

【问题 2】下列语句中准确描述了 ISDN 接口类型的是 ()。

- a. 基群速率接口 (30B+D) 中的 D 信道用于传输用户数据和信令,速率为 16 kb/s
- b. 基群速率接口 (30B+D) 中的 B 信道用于传输用户数据,速率为 64 kb/s
- c. 基速率接口 (2B+D) 中的 D 信道用于传输信令,速率为 64 kb/s
- d. 基速率接口 (2B+D) 中的 D 信道用于传输用户数据,速率为 16 kb/s

【解析】基速率接口由两个 64 kb/s 的 B 信道和一个 16 kb/s 的 D 信道组成。B 信道主要用于承载数字数据、PCM 编码数字语音等,D 信道可传输低速率数据,也可以传输信令。基群速率接口也称一次群速率接口,即 (30B+D)。B 和 D 均为 64 kb/s 的数字信道。B 信道主要用于传输用户信息流,D 信道主要用于传送电路交换的信令信息,也用于传送分组交换的数据信息。基群速率接口由 30 个 64 kb/s 的 B 信道和一个 16 kb/s 的 D 信道组成。

可见，参考答案是选项 b。

练习

1. 描述基速率服务与主速率服务。
2. 讨论 ISDN 的功能。你是否认为 ISDN 作为一种服务能否在较长一段时间内适用？
3. 讨论“综合业务”的概念。
4. 列出并讨论使用 ISDN 的 3 类信道。
5. ISDN 线路由几个信道组成？各信道的作用分别是什么？
6. 画出将 3 台 PC 和 2 部电话连接到 ISDN 网络的框图。
7. 画出远程网络互连以及网络冗余的示意图。
8. 在 56 kb/s 链路上使用 ISDN 有什么好处？
9. 描述 ISDN 的协议层。
10. 第 2 层 LAPD 的功能是什么？
11. 解释下列 ISDN CPE:
 - a. TE1, TE2
 - b. TA
 - c. NT1, NT2
 - d. NT12
12. ISDN 终端设备类型分为几类？其中哪一类不与 ISDN 网络兼容？

补充练习

1. 浏览下列网址，查找 ISDN 信息。
 - a. ISDN 指南：<http://public.pacbell.net/ISDN/connect.html>
 - b. ISDN 信息和网络链接：http://web.cerf.net/dank/isdn/isdn_ai.html
2. 使用 Web，研究包含用于广域网连接的 ISDN 接口的产品，找出至少 3 种不同的使用 ISDN 的路由器。画图表示如何用这些产品来连接两个局域网。
3. 从本地服务运营商那里了解家庭或单位要获得 ISDN 服务需要做些什么。

第二节 帧 中 继

帧中继（FR）是在用户与网络接口之间提供用户信息流的双向传送，保持其顺序不变，并对用户信息流进行统计复用的一种承载业务。用户信息以帧为单位进行传输。为了通过广域网提供帧中继服务，需要采用帧中继与 ISDN 接口匹配。帧中继标准定义了企业网络与包交换网络之间的接口。使用“帧”这个术语，是因为帧中继实现了多条虚电路（或端点）的数据帧的异步多路复用。使用“中继”这个术语是由于帧内的时隙在经过帧中继网络时不会被多路分解。大多数本地运营商和长途运营商都提供帧中继服务。

学习目标

- ▶ 了解帧中继的基本操作;
- ▶ 了解帧中继如何使用虚电路在网络上传输数据, 并勾画一个包括高层的帧中继帧;
- ▶ 掌握帧中继使用的协议报头格式;
- ▶ 了解帧中继在企业网络中的典型应用, 以及公用帧中继网络、专用帧中继网络和混合帧中继网络之间的差别。

关键知识点

- ▶ 帧中继最初是用来在广域网上传输数据的, 帧中继帧包含网络地址;
- ▶ 企业网可采用各种方式应用帧中继。

帧中继的概念

帧中继网络是将帧中继帧从一个网络传输到另一个网络的交换网络。帧中继逻辑上是运行在电子交换机上的软件。从物理层次上讲, 帧中继是一个连接到 3 条或更多条高速链路的设备, 并在它们之间路由数据流, 如图 8.10 所示。在该图中假设帧中继网络已经建好虚电路(VC)。VC1 从多路复用器 A 到多路复用器 C, VC2 从多路复用器 A 到多路复用器 D, VC3 从多路复用器 A 到多路复用器 E。所有这些电路都从帧中继 B 通过。

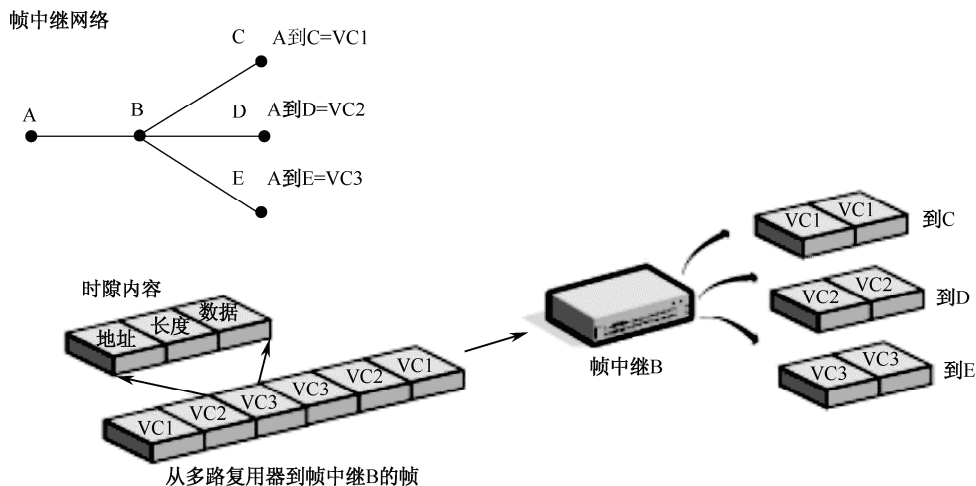


图 8.10 帧中继

接下来, 假设所有 3 条电路上的数据都流入多路复用器 A, 则多路复用器 A 把它们分割成帧, 帧中存储着数据、地址和长度信息。(图中经过了简化, 其所有的数据长度都相同。)

帧从 A 传送到 B, B 必须对此帧进行多路分解, 然后把它们分成若干帧发送到 C、D 和 E。

图 8.11 所示为另外一种类似的帧中继网络。这里，路由器支持帧中继网络。虚电路 1(VC1) 可以是路由器 1 到路由器 C 的通路，VC2 可以是路由器 1 到路由器 D 的通路，VC3 可以是路由器 2 到路由器 E 的通路。

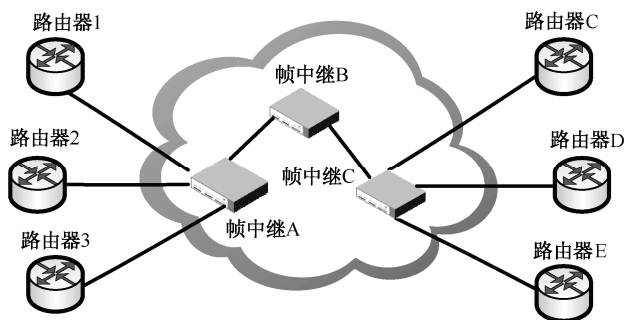


图 8.11 帧中继网络

帧中继有如下几个特点：

- ▶ 按照 ITU-T 的定义，帧中继可以是 T1 或 E1 带宽。ITU-T 的意图是在满足用户带宽需求方面，帧中继不如信元中继（ATM）。然而，现在的帧中继服务提供商都在承诺提供 T3 带宽，因此帧中继在高端将和信元中继重叠。
- ▶ 帧中继最终的目的是为了进行数据传输，而不是进行语音、视频或其他对时间敏感的信息的传输。
- ▶ 仅提供面向连接的服务。与其他的 ISDN 分组服务不同，帧中继网络不提供全连接模式的数据链路服务。虽然帧中继是面向连接的，但它不提供端端检错或纠错功能：一帧可以使其通过网络，也可以使其不通过网络。它的地址字段和 CRC 相对于每个接口都是本地的，每帧通过网络设备后被网络改变。
- ▶ 能检测到传输错误，但是不能纠正这些错误（帧被丢弃）。DLC 级的发送方并不知道帧被丢弃。人们假定物理链路是可靠的，帧中继设备出错率很低。
- ▶ 帧中继速度比 X.25 要快，因为它只需要将帧传递到下一个帧中继设备，而且网络不执行纠错的功能。

当前，大部分电信公司都提供帧中继服务。由于它的帧长度是可变的，因此不适合于语音和视频业务。

对于帧中继，需要理解几个重要的术语。其中两个是承诺信息速率（CIR）和承诺最大信息帧长度（CBS）。CIR 是对特定服务所承诺的平均数据传输速率，CBS 是指在一段时间间隔内传输的比特数。

在购买帧中继设备时，CIR 和 CBS 是两个很重要的考虑因素。CIR 和 CBS 的关系是： $t(\text{时间}) = \text{CBS} / \text{CIR}$ 。例如，当 CIR 为 256 kb/s，CBS 为 512 kb 时，表示在任意给定的 2 s 时间内，网络将传送 512 kb 数据，此保证速率是对于拥塞周期而言的。

在负载较小的网络中，网络的实际吞吐量将比 CBS 大，这就是 EBS（超最大信息帧长度）。

与 EBS 相对应的是超信息速率（EIR），即在给定的时间内所允许的超数据速率。其他帧中继环境中常见的重要术语有：

- ▶ 帧中继接入设备（FRAD）—— 一种提供帧中继网络接入的设备。在局域网中，它通常是路由器。
- ▶ 用户-网络接口（UNI）—— 规定了帧中继网络设备和终端用户设备之间的信令和管理功能。
- ▶ 网络-网络接口（NNI）—— 规定了两个帧中继网络之间的信令和管理功能。

帧中继协议

帧中继是作为综合业务数字网络的一个产物，在其作为协议出现只是 ISDN 的分组交换数据业务的一部分，它最初用来提供一个高速率的分组交换数据传输业务。帧中继协议在第 2 层实现，没有专门的物理层接口（可以使用 X.25、V.35、G.703 和 G.704 等接口协议）。在其上可以承载 IP 数据报，而其他协议（甚至远程网桥协议）都可以在帧中继上透明传输。在此从技术原理的角度讨论帧中继，主要考察有效带宽的分配和虚电路在帧中继网络中的创建。

永久电路和虚电路

在帧中继网络中，各种应用可共享有效带宽，激活状态的应用在其他设备没有发送或接收信息时，可以在任何时刻完全访问网络。当出现问题时，帧中继可以重新路由通信流，因为帧中继交换机有得到网络状况、对此状况进行说明和采取正确行动的智能和能力。一般的专用线路没有这个能力。

帧中继通过虚电路（VC）承载网络业务。虚电路（VC）通过 NNI 从一个网络的终端映射到另一个网络的终端。每条 VC 轮换使用端口连接设备的整个容量来收发数据，其轮换周期取决于每条 VC 的承诺信息速率（CIR）。当一个端口上的数据容量过大或分配到此端口的其他 VC 均处于空闲状态时，此端口的 VC 就会出现突发流量，使速率超过 CIR。这是帧中继与 TDM 的另一个不同之处，如图 8.12 所示。

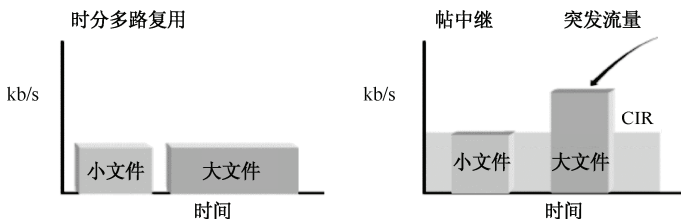


图 8.12 帧中继突发和性能

帧中继帧

帧中继帧基于 HDLC LAPD（ISDN 链路层）帧格式，包含一个长度为 2 字节的报头信息

字段、可变长度的信息字段、帧校验字段以及开始/终止标志字段。报头信息包括用于数据链路连接标识符（DLCI）的 10 比特。DLCI 的 10 比特允许每个物理接口上有 1000 多个虚电路地址。剩余的比特用于拥塞信息和其他控制功能。图 8.13 显示了帧中继的帧格式。

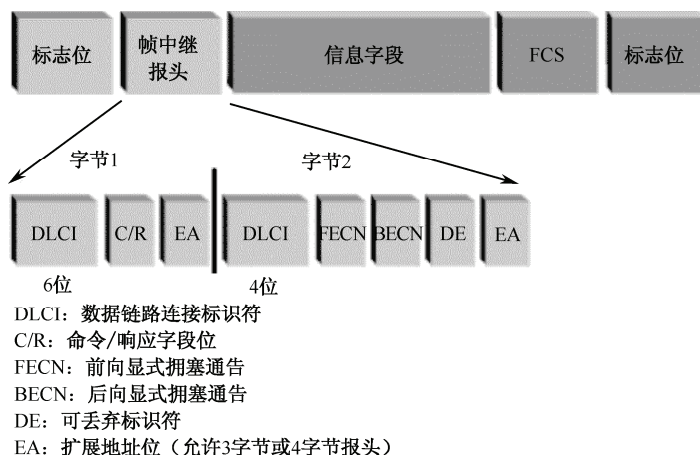


图 8.13 帧中继的帧格式

帧中继的帧格式包含以下内容：

- ▶ 标志位——标识每帧的开始和终止。
- ▶ DLCI——用来标识一帧的虚电路。它是一个 10 位的地址，前 6 位来自帧中继报头的第一个 8 位字节的前 6 位，后 4 位来自于帧中继报头的第二个 8 位字节的前 4 位。DLCI 标识了用户和网络之间的逻辑信道，但不能涵盖整个网络。
- ▶ 命令/响应（C/R）——C/R 位没有使用。
- ▶ 扩展地址位（EA）——EA 位可将地址从 10 位扩展到 12 位。EA 位不常用。
- ▶ 前向显式拥塞通告（FECN）——FECN 位用来告诉接收方：此帧通过网络时，曾经发生过拥塞。它是由网络而不是由用户设定的。
- ▶ 后向显式拥塞通告（BECN）——BECN 位用来表示相反方向的通信流可能发生过拥塞。
- ▶ 可丢弃（DE）位——DE 位用来为帧中继设备提示：在发生拥塞时，同其他没有设置 DE 位的帧相比，该帧可以被丢弃。
- ▶ 信息字段——信息字段包含了用户数据。其最大推荐净荷是 1 600 字节，最小推荐载荷是 1 字节。网络中的帧中继设备对帧信息部分的内容不予处理。监督（控制）位信息利用一个独立的 DLCI 通过网络，并且被认为是“频带外”信号。
- ▶ 帧校验序列（FCS）——用于校验接收到的帧是否有错。在每一帧的尾部，访问设备提供一个 FCS，以保证比特的完整性。出错的帧被丢弃。与 X.25 不同，帧中继端点设备能够知道帧被丢弃，并通过重新初始化传输来恢复该帧。

LAPD 的信息字段（I Field）长度是可变的。虽然理论上讲 FCS 的最大完整性是 4096 字节，实际上的完整性却是由销售商规定的。帧中继规范规定，所有的网络都支持的“最小最大

值”是 1600 字节。信息字段包含了在帧中继网络的设备间传输的数据。用户数据可以包含用于访问设备的各种协议（PDU，即协议数据单元）。根据 IETF RFC 1490（一个规范信息字段内使用的协议的工业标准机制），信息字段也可以包括“多协议封装”。不管有没有多协议封装，信息字段内的协议信息对帧中继网络都是透明的。

帧中继使用报头位来指示网络拥塞。网络通过前向和后向显式拥塞通告（FECN 和 BECN）向访问设备通告网络拥塞的情况。访问设备负责在这种拥塞情况下限制数据的流量。为管理拥塞和保证公平，有丢弃位的帧都根据丢弃位做了标识。帧中继规范说明书提供了一个流量控制的方法，但不保证那些规范在设备上可以实现。这是一个由销售商规定的问题，它通常是销售商产品性能的主要差别，但它一般不会影响基本的帧中继网络的兼容性。

网络和访问设备可以传送具有唯一 DLCI 地址的特殊管理帧。这些帧监控状态链路，并反映它是在使用还是未使用。管理帧也传送关于永久虚电路（PVC）的当前状态和网络上任何 DLCI 变化的信息。本地管理接口（LMI）是提供 PVC 状态信息的协议。帧中继的最初规范并没有规定这种状态。后来，ANSI 和 CCITT 为 LMI 开发并协作推出了一种方法，即“官方”公认的数据链路控制管理接口（DLCMI）。

帧中继协议很简单。如果帧中继设备接收了无效的帧，不用通知发送方或接收方，丢弃就可以了。帧中继协议不支持对帧进行排序，并且在信息字段内不发送控制信息，只发送用户数据。帧中继设备不用在网络接收端对帧进行确认。

BECN 和 FECN 在帧中继网络中用来标识拥塞。如图 8.14 所示显示了当设备 C 中发生拥塞时如何传输信息。设备 C 检测设备 E 方向拥塞，就在帧中设置 FECN 位，设备 E 在必要时丢弃该帧以避免拥塞；设备 C 同时在帧中为设备 A 设置 BECN 位，设备 A 可以采取适当的行动来避免设备 C 与设备 E 之间的拥塞。

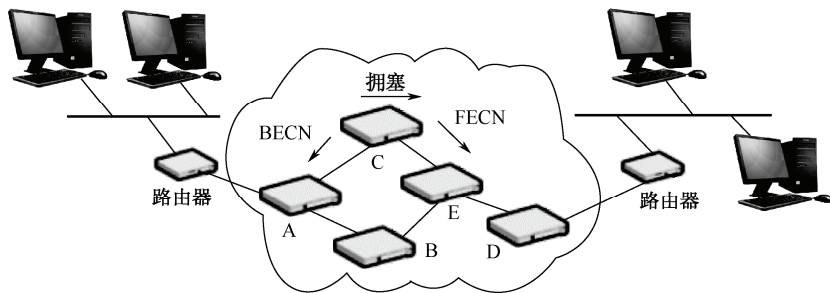


图 8.14 帧中继 BECN/FECN

帧中继寻址

帧中继连接是一种虚电路，称为数据链路连接（DLC）。在大多数帧中继设备和服务中，DLC 是永久虚电路（PVC），由连接的两端预先定义好。交换虚电路（SVC）也是在帧中继规范中定义的，并且正在应用。最初为帧中继提供的服务是基于 PVC 的，这种趋势一直延续至

今。PVC 已经并将继续为大部分现有的数据应用提供有效服务。但是,为满足新的应用,刺激互连通信,支持和实现 SVC 的厂商也在增加。

每个 DLC,无论是 PVC 还是 SVC,都有一个标识码 DLCI。与物理地址在以太网中的变化相类似,DLCI 随着帧在段间的传输而变化。所以,要记住的是 DLCI 只在本地有意义,即帧中继连接的 DLCI 在本地和远程终端可能不同(通常是不同的)。因此,需要知道提供给帧中继网络的任何链路的本地 DLCI 和远程 DLCI。无论是通信公司还是专用网络,其中每个帧中继交换机内的路由表都负责把帧路由到正确的目的结点,在目的结点交替读出并分配帧内控制部分的 DLCI 值。

DLCI 是帧的一部分,用来标识终端设备与网络间的逻辑信道。由于 DLCI 仅标识到网络的连接,所以映射两个正在通信的 DLCI 的任务就由网络设备来完成。图 8.15 显示了这种情况。

在图 8.15 中,DLCI 200 由帧中继网络从站点 A 路由到站点 B,在站点 B 上的是 DLCI 100。所有从站点 A 上的 DLCI 200 发出的数据将出现在站点 B 的 DLCI 100 上。所有从站点 B 上的 DLCI 100 发出的数据将出现在站点 A 的 DLCI 200 上。DLCI 的不正确配置是一个常见的错误。

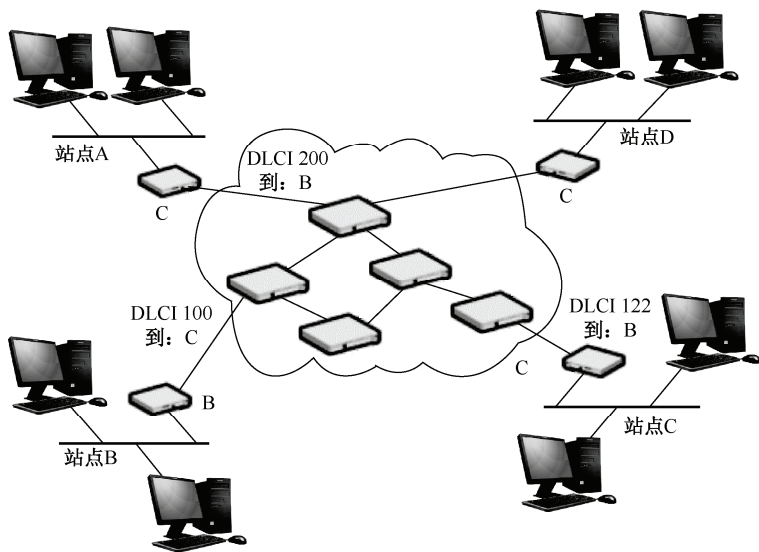


图 8.15 帧中继寻址

通过帧中继实现局域网互连

由于帧中继的速度和灵活性比较好,常用来在广域范围内传输局域网业务。将局域网连接到帧中继网络的设备,都要封装数据帧或者帧中继帧中的数据包,并将其在网络中传输,如图 8.16 所示。

在网络的另一端,信息从帧中继帧中提取出来,并被传输到最终的目的结点。



图 8.16 帧中继封装

帧中继的实现

大部分机构采用的既不是纯粹的公用网络，也不是纯粹的专用网络体系结构，而是二者的结合——混合网络设计。这已成为一个大机构的工业化标准体系结构。因此，在设计和实现广域网时，同时评估公用电话交换网络服务和专用线路网络服务是非常重要的。

帧中继实现方案

从理论上讲，建立一个帧中继网络有如下 3 种方法：

- ▶ 专用网络解决方案；
- ▶ 使用公用设施的解决方案；
- ▶ 混合解决方案，既使用专用设备，又使用公用设施。

专用帧中继网络可以在没有公用设施的情况下构建。如图 8.17 所示，使用客户拥有和操纵的帧中继设备将几个站点连接起来，如此用帧中继实现网络。

另一种帧中继技术的实现方案是通过使用公用设施。其中帧中继交换机和帧中继主干网由远程通信服务提供商拥有和经营。用户看不到交换机和交换配置，看不到信息从源网到目的网所走的路径。用户也不需要管理网络。这种技术为每个特定站点提供了一条虚电路，并且只有该站点端的用户可以使用这条电路。这就是虚拟专用网（VPN）。图 8.18 中的网络云解释了这个概念。

将专用设备和公用设施进行组合，就可以组成一个混合帧中继网络。用公用网络、专用网络还是混合网络，要根据企业业务的具体应用来决定。对于那些想连网但又没有条件的特定地区来说，把公用设施和专用设备或其他技术结合起来可能是很必要的。图 8.19 显示了混合帧中继网络的概念。

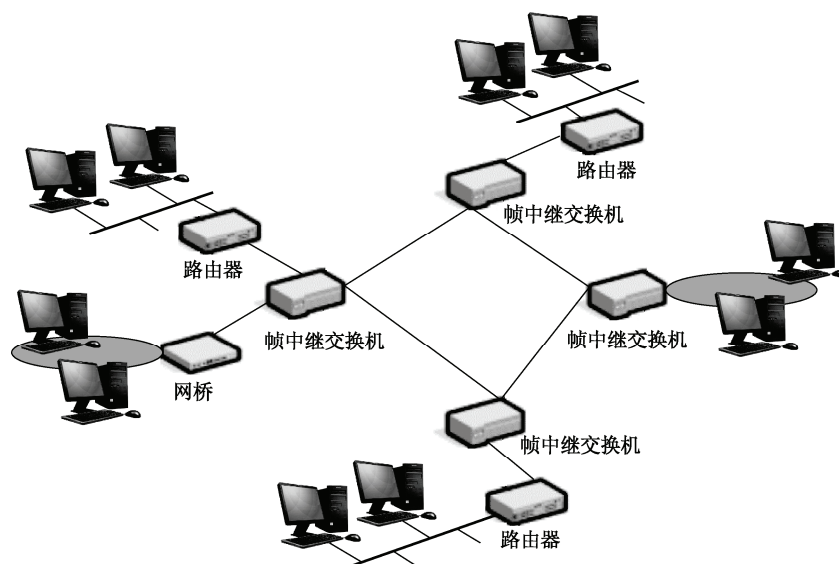


图 8.17 专用帧中继网络

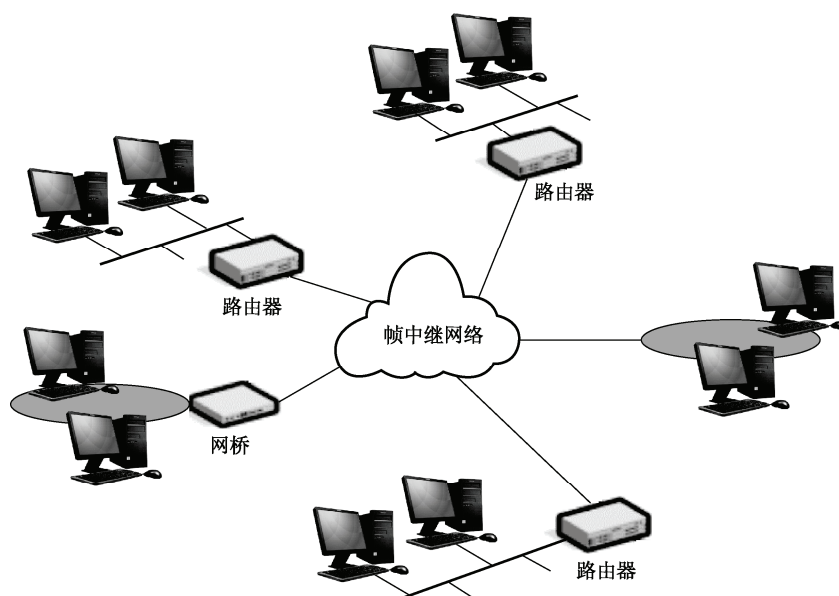


图 8.18 公用帧中继网络

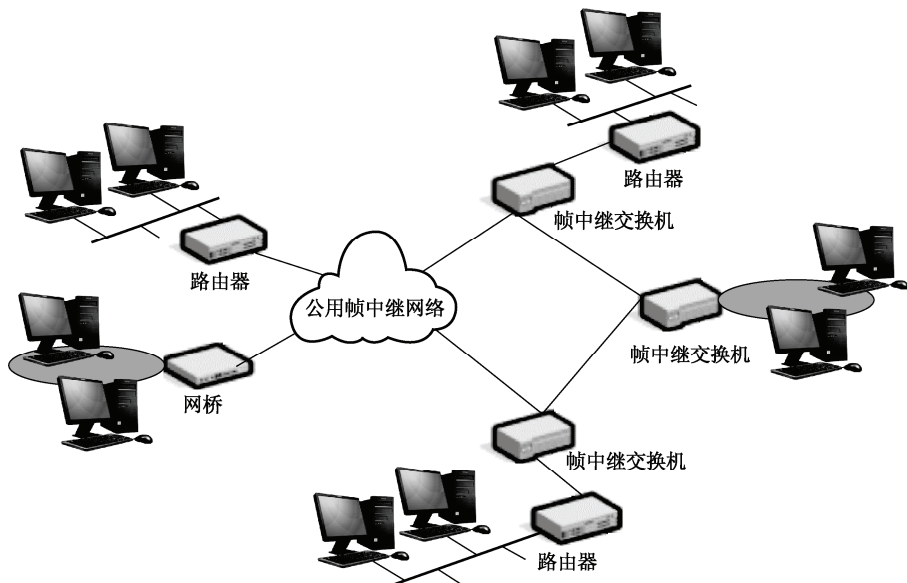


图 8.19 混合帧中继网络

终端用户对帧中继网络的访问

终端用户设备可以通过多种方式访问帧中继网络。一般来说，PC 和工作站都使用帧中继网络，如许多语音和视频应用。用户终端设备包括：

- ▶ 个人计算机（PC）；
- ▶ 工作站；
- ▶ 控制器；
- ▶ PBX 设备。

用户终端设备连接到有帧中继功能的 CPE（如网桥和路由器）。CPE 设备从网络中获取信息，并将信息放在帧中继帧中。帧中继帧通过 UNI 传输到帧中继交换机。UNI 连接是处于 CPE 和帧中继网络之间的。图 8.20 所示给出了许多种可能的连接。帧中继网络中的帧中继交换机提供 NNI 上两端点之间的连接。

帧中继和专线网络

专用的点对点线路（如 T1）广泛用于计算机网络中各站点之间的连接。专用线路采用 TDM 技术，通过广域网进行数据流量通信。通常，专用线路用来满足网络连接的高峰数据流量的速率要求。

广域网的重点已经从专用网络转向了交换网络，原因是高质量的公用交换网络本身使交换技术具有很高的可靠性和效率。最新一代的公用网络服务（包括帧中继与 ATM 服务）使得这一趋势更加明显。

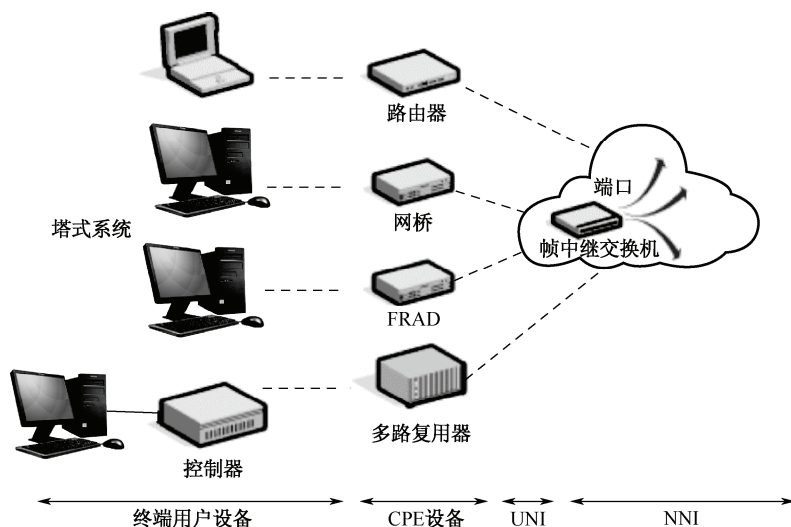


图 8.20 终端用户连接

对帧中继的需求不断增长的一个原因是：与 T1 网络相比，帧中继网络的复杂度降低了。随着端点数量的增加，帧中继显得越来越有意义，如图 8.21 所示。

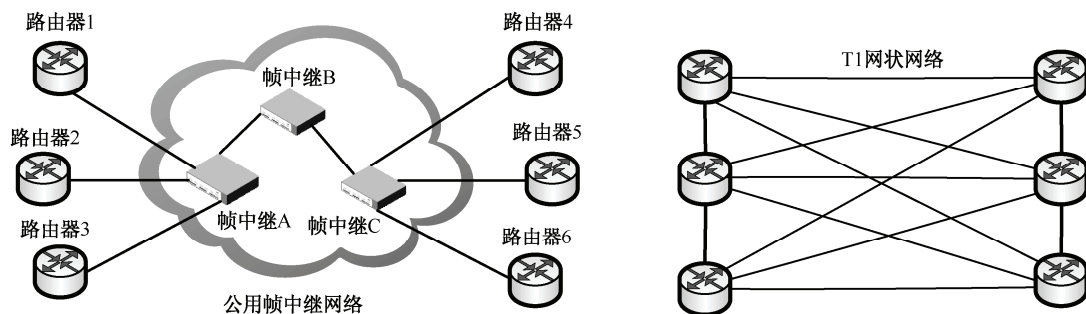


图 8.21 T1 和帧中继网络

值得注意的是，典型的帧中继实现是采用 T1 作为物理层服务的。也就是说，帧中继依靠基于 T1 的点对点服务。

公用帧中继服务

帧中继可提供高速率数据传输服务。源结点和目的结点之间使用租用线路进行通信。这些租用线路一般是部分 T1 或全 T1 连接。

为使数据传输到正确的目的地，帧中继包含寻址信息，网络利用信息来保证通过服务提供商的交换机正确地路由数据。寻址实质上是让用户建立虚电路，在相同的访问链路上进行通信。

帧中继网络对网络管理者非常有诱惑力，部分原因在于它利用公用数据网络，使得与机构自身复杂的网状拓扑广域网的维护有关的线路、设备和管理费用减到最少。这种节省费用的方

法是可行的，因为设计、维护网状数据网络的重担落在了服务提供商（如 MCI 和 Sprint 公司等）的身上。

这种安排有很多优势。首先，它减轻了网络管理者管理整个基础设施的负担。其次，还减少了在网络中进行必要的改动所要花费的精力。

例如，如果网络管理者需要增加带宽或者增加网络接入点的数量，只要打几个电话给服务提供商，然后对中心站点上的路由器进行轻微的改动即可。当新的应用需要更高速率时，一般可以随时增加带宽。

第一个公用帧中继服务开始于 1991 年的美国。如今在帧中继市场上已有许多服务提供商。图 8.22 显示了所提供的各种帧中继公用服务，其中包括：

- ▶ 基本帧中继传输；
- ▶ 多种访问方式选择；
- ▶ 客户网络管理；
- ▶ 因特网访问；
- ▶ 国际连接；
- ▶ 受控网络服务。

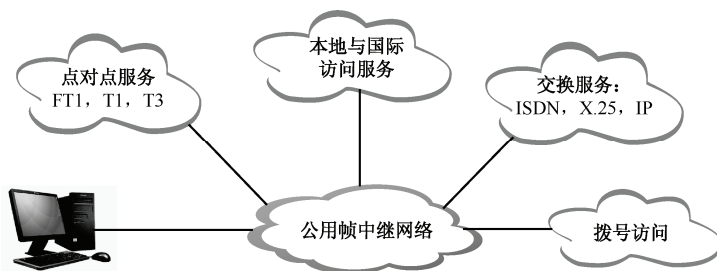


图 8.22 帧中继公用服务

可以看到，使用帧中继网络的方式很多。用调制解调器模拟拨号访问，对于流动工作人员、远程通信用户和临时网络用户来说是一个非常合适的选择。也可以使用交换访问选择方案，如 ISDN 和 Switched-56 等。

按需带宽

帧中继具有按需提供带宽的能力，使得它非常适用于突发性数据通信。

帧中继之所以能提供额外带宽，是因为它使用了统计多路复用技术，这种技术不需要全时段的专用链路。帧中继只是在需要传输数据时才使用带宽。

传统广域网传输使用的是时分多路复用技术，因此每个广域网上的数据传输过程都需要专用带宽。这种方法的缺点在于：即使在“数据沉默”（即没有数据传输）时也要占用链路。

与租用线路不同，可以用两种连接速率建立帧中继：CIR 和额外信息速率（EIR）。CIR 保证可以获得最小的带宽，它取决于对正常通信流量的估计。如果网络通信流量超过 CIR，帧中

继网络就会尝试建立额外线路来完成传输任务。

帧中继网络需求

连接到帧中继网络所需的硬件和软件配置并不复杂。可以说非常简单：每个网络需要一台带一个与网络协议相匹配的广域网连接端口（或多个端口）的路由器，还需要支持帧中继的路由器软件/固件和一个 DSU/CSU（数据服务单元/信道服务单元）网络接口。假设各种连接（局域网、路由器到通信公司，通信公司到帧中继网络）在物理上都正确，并且已经开始使用，那么帧中继网络连接就可以运行了。

帧中继是一种适于本地访问传输区域（LATA）之间的技术，投资少，见效快。但对于同一个 LATA 中的多个站点，也就是同一个区域的几个站点来说，帧中继在经济上也许不具有吸引力（甚至不可行）。决定帧中继技术是否划算的关键，是从公司到帧中继服务提供商的 56 kb/s 或 T1（1.544 Mb/s）租用专线的费用。如果所有网络在同一区域内，使用专用线路当然要比使用帧中继便宜。

典型问题解析

【问题 1】 以下关于帧中继网络的叙述中，错误的是（ ）。

- a. 帧中继提供面向连接的网络服务
- b. 帧在传输过程中要进行流量控制
- c. 既可以按需要提供带宽，也可以是突发式业务
- d. 帧长可变，可以承载各种局域网的数据帧

【解析】 帧中继（FR）向用户提供面向连接的通信服务。FR 省略了帧编号、差错控制、流量控制、应答、监视等功能，把这些功能全部交给用户终端去完成，大大节省了交换机的开销，降低了时延，提高了信息吞吐量。

可见，参考答案是选项 b。

【问题 2】 下面关于帧中继网络的描述中，错误的是（ ）。

- a. 用户的数据速率可以在一定的范围内变化
- b. 既可以使用流式业务，又可以适应突发式业务
- c. 帧中继网络可以提供永久虚电路和交换虚电路
- d. 帧中继虚电路建立在 HDLC 协议之上

【解析】 帧中继（FR）在第 2 层建立虚电路，用帧方式承载数据业务。FR 的帧比 HDLC 操作简单，只做检错，不重传，只有拥塞控制，没有滑动窗口式的流控。帧中继协议是 LAP-D，它为 FR 进行信令管理提供数据链路层支持。LAP-D 与 X.25 的 LAP-B 基本相同，但简单一些，省去了控制字段。

可见，参考答案是选项 d。

【问题 3】在帧中继的地址格式中，表示虚电路标识的是（ ）。

- a. CIR b. DLCI c. LMI d. VPI

【解析】CIR 的含义是承诺信息速率；LMI 的含义是本地管理接口，常用 LMI 封装的类型有：Cisco、Ansi 和 Q933a；VPI 是 ATM 的虚电路。

可见，参考答案是选项 b。

练习

1. 画图表示两个局域网，要求每个局域网包含 15 个客户和 2 个服务商，使用帧中继通过路由器连接起来。在图上标出下列设备所在的位置：

- a. FRAD b. NNI c. UNI d. ECS

2. CIR 的定义是（ ）：

- a. 设备所承诺的平均数据传输速率；
- b. 在某个给定的时间内能传输的位数；
- c. 在网络用户较少时所能实现的吞吐量；
- d. 两个帧中继设备之间的信令和管理功能。

3. 帧中继比较适合于语音与视频应用。判断对错。

4. CIR 是实际的帧中继网络吞吐量。判断对错。

5. CBS 定义了在某一个给定的时间内能传输的位数。判断对错。

6. 描述帧中继网络的基本工作过程。

7. 描述帧中继寻址原理。

8. 描述 BECN 和 FECN 的基本功能。

9. 画图表示协议栈和相应封装 TCP/IP 数据包的帧中继帧。

补充练习

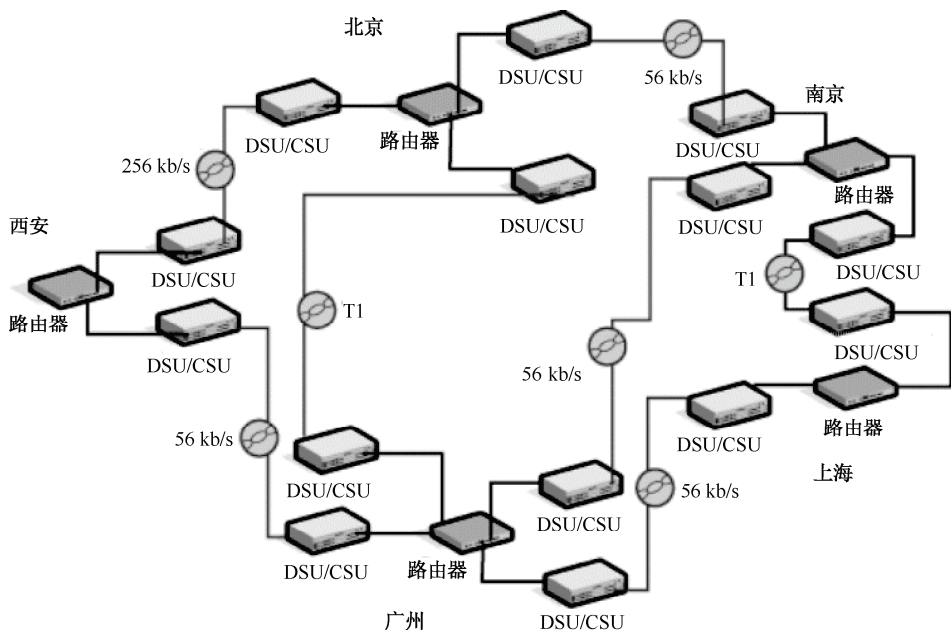
有分散在全国各地的 5 个地点。每个地点由路由器提供全国范围的局域网互连服务。每台路由器和一个地区（比如一个城市中的不同的建筑物）内的许多局域网相连。假设通信流量是间断性的，但是有很高的峰值速率。根据通信流量的不同，用户拥有遍布全国的不同容量的点对租用线路。

在下面的初始网络图中，非帧中继网络包括 5 台路由器、14 个 DSU/CSU、4 条 56 kb/s 租用线路、2 条 1.544 Mb/s 租用线路（T1）和 1 条 256 kb/s 租用线路（FT1）。路由器有 14 个路由端口，增加了路由器成本。另外，大多数路由器生产厂家路由器的性能和路由器的存储器容量结合起来。

如果深入分析该图，将会发现：

- ▶ 有 7 条租用线路用来改变容量和距离；
- ▶ 使用了 14 个 DSU/CSU；
- ▶ 使用了 14 个路由器端口。

试确定帧中继的实现需要哪些设备。画一张使用帧中继满足上述要求的图。



第三节 X.25

X.25 是最早的面向连接的网络层协议，现在它在通过广域网实现包流量的交换时仍然很常用。在通常情况下，X.25 网络（不管是公用网还是专用网）大都建立在公用电话网的租用线路设施之上。它使用的是网络层地址（电话号码），使得交换机可以通过多条路径路由流量。

X.25 正在迅速被速度更快的技术所取代。但是，理解 X.25 协议和服务，将有助于理解像帧中继和综合业务数字网（ISDN）这些更快、效率更高的协议，因为它们都是建立在 X.25 基础之上的。

学习目标

- ▶ 了解 X.25 是如何通过广域网传送数据的；
- ▶ 了解包交换、帧交换、帧中继的不同之处；
- ▶ 掌握 X.25 各协议层的名称及其功能；
- ▶ 了解包装拆器（PAD）的作用。

关键知识点

- ▶ 许多高速包交换网络都是基于 X.25 的。

X.25 服务

X.25 是一个历史最悠久的广域网数据传输协议，它是国际电信联盟（ITU）即 CCITT 公布的用于连接数据终端至分组交换数据网络的推荐标准。X.25 是一个面向连接的接口，采用虚拟电路传递各个数据分组至网络上的适当终点处，它提供以下两类服务：

- ▶ 永久虚电路（PVC）——X.25 的这类服务等价于租用线路，只要网络建立起来，PVC 就静态地定义并一直有效。但是，其中可以共享物理链路的虚电路不止 1 条，这一点与租用线路是不同的。
- ▶ 虚拟连接——X.25 的这类服务等价于拨号连接。网络在一条虚电路上建立连接，传送包，直到数据传送完毕，而后释放此连接。

ITU 建议的 X.121 定义了 X.25 包网络上给设备分配地址的一个系统。X.121 系统类似于用于语音电话网络的编号方案。世界上任何地方的任何一个 X.25 用户都可由一个网络层地址唯一地标识，这个网络层地址包括世界区、国家、网络 and 单个用户的代码。因此，任何两个 X.25 用户，只要都在同一个网络或互连的网络内，就可以进行 X.25 通信。

X.25 协议

X.25 接口位于开放系统互连参考模型（OSI）的第 3 层，因为 X.25 可提供到传输层的无差错服务。然而，X.25 用于差错检验所需的开销在目前的高可靠数字网络中是难以接受的。

X.25 定义了它自己的 3 层协议栈，如图 8.23 所示。X.25 标准早于 OSI 模型，其第一个版本于 1976 年发布。OSI 采用 X.25 第 3 层作为面向连接的网络层协议。

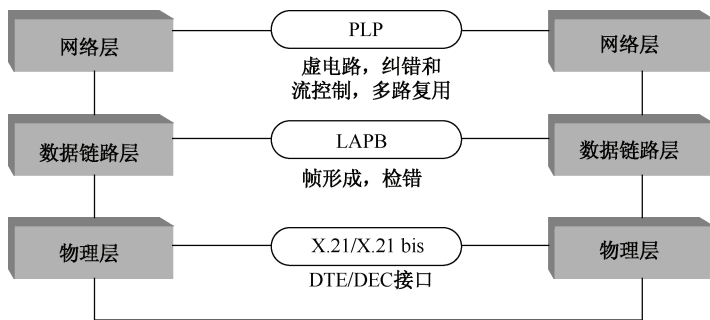


图 8.23 X.25 协议层

X.25 标准本身并没有提供协议栈所有 3 层的完全定义，但是可以参照其他标准。例如，X.75 是对两个不同的 X.25 网络之间的接口进行定义的标准，几乎与 X.25 等同。X.25 由以下协议组成：

- ▶ 第 3 层——分组层协议（PLP）；
- ▶ 第 2 层——平衡型链路接入规程（LAPB）；

► 第 1 层——X.21 和 X.21bis。

PLP

PLP 工作在 OSI 模型的网络层，它管理网络中任何地方数据通信设备（DCE）和数据终端设备（DTE）之间的连接。PLP 接收来自一个传输层进程的数据，将此数据分成许多包，经这些包分配一个网络层地址，并负责将它们无差错地传送到目的结点。PLP 可建立起虚电路，并通过虚电路路由包。由于许多条虚电路可以共享一条链路，因而 PLP 也可以进行包的多路复用。

LAPB

LAPB 工作在 OSI 的第 2 层（数据链路层），可通过一条链路提供全双工点对点的无差错帧传送。这些帧将包传送到工作于第 3 层的进程或将包从工作于第 3 层的进程传出去。

LAPB 是高级数据链路控制（HDLC）标准的一个子集。之所以 LAPB 是“平衡”的，是因为其标准除去了 HDLC 标准中与多点、非平衡操作有关的部分。

X.21 和 X.21bis

X.21 工作于 OSI 的物理层。X.21 是根据 RS-232（V.24）标准来定义 DTE/DCE 接口的，只不过 X.21 是为提供到数字网络（如 ISDN）的接口而设计的。由于在 X.25 开发时数字网络一般不是很有效，因而又定义了 X.21bis（实质上是 RS-232）作为一个过渡性的标准。

包装拆器（PAD）

对于一个通过 X.25 网络来发送数据的应用来说，其网络结点必须带有 X.21 或 X.21bis 接口，而且其执行的进程是为传输层提供 LAPB 和 X.25 PLP 服务的。但当 X.25 被开发出来时，许多设备（如字处理器或“哑”终端）都没有这些构件。

为使这些设备能连接到公用 X.25 网络，ITU-T 开发了一组标准，以提供对那些不能执行 X.25 各层协议的终端和 DTE 的访问。这些标准包括 X.3、X.28 和 X.29，通常称为交互式终端接口（ITI）标准。

总的来说，ITI 标准定义了一个“黑匣子”或包装拆器（PAD）。PAD 从异步 DTE（如一台 PC）接收字节流，将这些字节流“组装”成 X.25 包，并将 X.25 包发送到 X.25 网络上。PAD 的概念如图 8.24 所示。

对于 DTE 设备来说，PAD 看起来就像是一个调制解调器（Modem）。意思是说，除了常规异步通信所需的软硬件之外，无须将专门的软硬件添加到 DTE 设备。另外，有了用 Modem 建立的点对点链路，就可以将 DTE 设备连接到 PAD。单个 PAD 可为几台 DTE 设备提供服务，它尽可能将来自多台 DTE 设备的数据放到一个包中，从而执行集中器的功能。

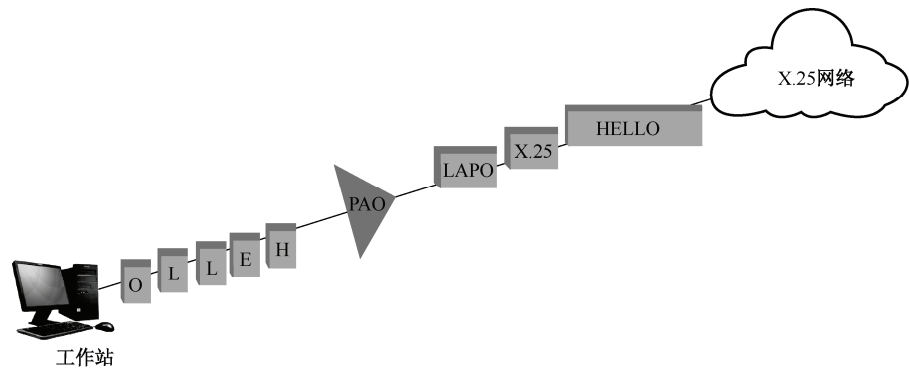


图 8.24 PAD

PLP

PLP 使用数据包、控制包两类包，其格式如图 8.25 所示。

数据包		保留	保留	
Q	D	0	1	
信道号				
P (r)		M	P (S)	0
用户数据				

控制包		保留	保留	
Q	D	0/1	0/1	组号
信道号				
包类型				1
附加信息				

图 8.25 PLP 包格式

PLP 数据包、控制包中各字段含义如下：

- ▶ Q 位——区分控制信息和用户数据信息。当 Q 位被置为 1 时，该包为用户数据；当 Q 位被置为 0 时，则表示该包为控制包。
- ▶ D 位——表示端到端的包确认。
- ▶ 保留位——紧随 Q 位和 D 位之后的 2 位目前不用。
- ▶ 组号——包含逻辑信道组号。
- ▶ 信道号——标识逻辑信道号。信道号和组号一起构成包地址。
- ▶ P (r) ——包含要发送的下一个包的序列号。
- ▶ M 位——“更多数据”位。M 位被置位时，表示有相关的附加包正在传送之中。

- P(s) ——包含所发送包的值。
- 包类型——标识包含在一个控制包中的命令或指令。X.25/LAPB 协议中可用的 PLP 控制包类型如表 8.3 所示。

表 8.3 PLP 控制包类型

	DCE 到 DTE	DTE 到 DCE	控制字段的值
呼叫建立和清除	入呼叫	呼叫请求	0 0 0 0 1 0 1 1
	呼叫连接		0 0 0 0 1 1 1 1
	清除显示		0 0 0 1 0 0 1 1
	DCE 清除确认		0 0 0 1 0 0 1 1
数据和中断	DCE 数据		x x x x x x x 1
	DCE 中断		0 0 1 0 0 0 1 1
	确认		0 0 0 1 0 0 1 1
流控制和复位	DCE RR (模 8)	DTE RR (模 8)	x x x 0 0 0 0 1
	DCE RR (模 128)	DTE RR (模 128)	0 0 0 0 0 0 0 1
	DCE RNR (模 8)	DTE RR (模 8)	x x x 0 0 1 0 1
	DCE RR (模 128)	DTE RR (模 128)	0 0 0 0 0 1 0 1
	复位显示	复位显示	0 0 0 1 1 0 1 1
	DCE 复位确认	DTE 复位确认	0 0 0 1 1 1 1 1
重新启动	重启显示	重启请求	1 1 1 1 1 0 1 1
	DCE 重启确认	DTE 重启确认	1 1 1 1 1 1 1 1

控制包用来建立、引导和终止一段 X.25 会话。如图 8.26 所示，描述了建立 X.25 连接和发送数据所需的一个典型的包交换序列。

X.25 虚电路级

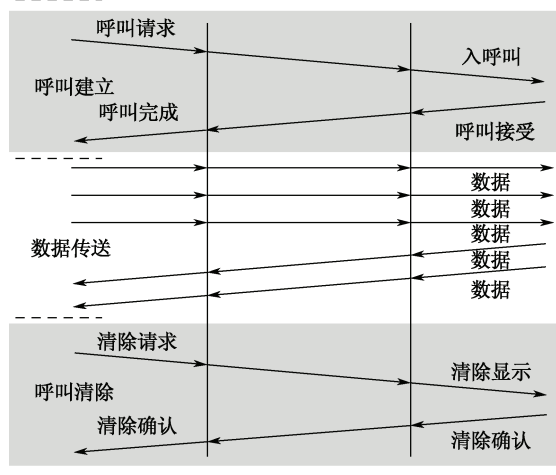


图 8.26 X.25 包序列

开销和性能的局限性

如今, X.25 网络正在被更快的包/信元交换网络(如帧中继和 ATM)所取代。这是因为 X.25 网络受到以下局限:

- ▶ 吞吐量低——X.25 网络至多能够支持 DS0 带宽。
- ▶ 开销大——由于 X.25 PLP 负责包的无差错传递, 因而虚电路中的每个结点, 连同接收结点中的传输层进程, 都必须对所接收到的每个包进行确认。除了每个“真正的”数据包通过网络往返传送外, 几个确认包也必须经过相同的路径往返传送。其结果, 有效吞吐量远低于组成网络的物理链路的额定容量。
- ▶ 功能多余——当公用电话网速率较低且大部分为模拟网时, X.25 的开销是合理的, 1976 年 X.25 首次投入使用时就是这样。然而, 今天的数字网络是越来越基于光纤的, 可靠得多, 拥有足够的带宽, 因而拥塞不大可能发生。结果, 位于第 3 层的流控制不再需要了, 错误恢复只须留给较高层去完成, 这些较高层在任何事件中都要进行错误恢复。

典型问题解析

【问题 1】 以下关于 X.25 网络的描述中, 正确的是 ()。

- a. X.25 的网络层提供无连接的服务
- b. X.25 网络丢失帧时, 提供检查帧顺序号重传丢失帧
- c. X.25 网络使用 LAPD 作为传输控制协议
- d. X.25 网络采用多路复用技术, 帧中的各个时槽被预先分配给不同的终端

【解析】 X.25 提供面向连接的虚电路服务, 选项 a 是错误的。X.25 不采用重传丢失帧, 而是采用后退 N 帧的 ARQ 协议, 选项 b 也不正确。X.25 网络使用 LAPB, 帧中继采用 LAPD, 选项 c 也不正确。显然, 参考答案是选项 d。

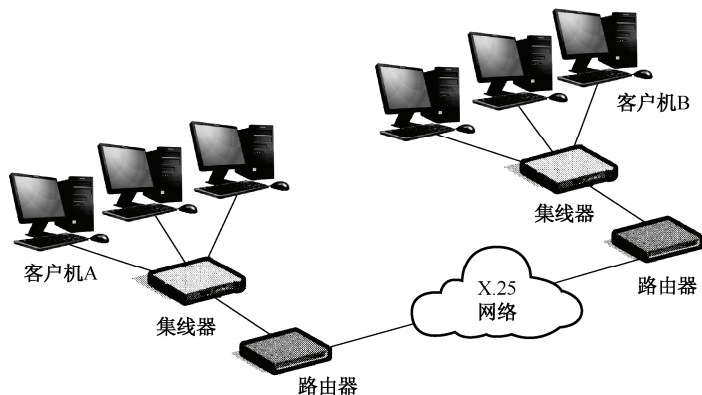
【问题 2】 在 X.25 网络中, () 是网络层协议。

- a. LAPB b. X.21 c. X.25 PLP d. MHS

【解析】 选项 a 的 LAPB 是 X.25 的数据链路层协议, 帧中继使用 LAPD。选项 b 的 X.21 用于定义主机与网络之间物理、电气、功能以及过程特性, 是 X.25 的物理层协议。选项 d 的 MHS 是信息处理服务, 是 OSI 参考模型的应用层协议。而 X.25 PLP 是 X.25 的网络层协议。显然, 参考答案是选项 c。

练习

根据下图，描述从客户机 A 到客户机 B 和从客户机 B 到客户机 A 的信息流动。说明在每台设备中和通过广域网（WAN）时所用到的协议。



补充练习

根据图 8.26，当 X.25 包通过广域网往返传输时画出这些包。假定 IP 包正在由 X.25 包进行传送，请指出哪些 X.25 包将承载 IP 信息，而哪些包是控制包。

第四节 基于广域网技术的通信融合

通信技术的发展使历史上彼此分开的网络和服务结合到了一起。通常情况下，人们使用多种网络来传输语音、数据等多媒体信息流。将这些不同的网络合并在一起，并使用单一低成本、高效率技术支持语音和数据，一直是人们努力的目标。在此主要研究将 PSTN 和数据通信集成在一起的关键构件，以及它们是怎样帮助企业来满足现在与将来的通信需要的。

学习目标

- ▶ 掌握通过不同技术传输语音的可选方案；
- ▶ 了解 VoIP 网络中的主要 H.323 构件；
- ▶ 掌握 VoIP 网络中的主要 MGCP 构件；
- ▶ 了解通过专用 VPN 进行电话综合时必须考虑的问题。

关键知识点

- ▶ H.323 通过分组网络提供多媒体传输；专用 PBX 网络可通过专线承载长途业务。

语音传输技术

传统的电话网以电路结合的方式传输语音，基本带宽为 64 kb/s。而要在基于 IP 的分组网上传输语音，则必须对模拟的语音信号进行特殊处理，使之能够方便地在面向无连接的分组网络上传输。这就是分组语音技术。分组语音技术的主要市场驱动力之一是能够降低电信成本。随着技术的发展，现在已能够通过使用 IP 的分组数据网传输语音业务。

基于因特网的语音传输

近年来，很多公司都试图投资于扩展因特网网络的功能，其中包含因特网电话的计划。这些公司提供了运行于多媒体计算机上的产品，并要求每一终端用户都使用相同的软件、类似配置的计算机（带有麦克风和声卡）和统一费率的因特网接入。与传统的通过 PSTN 进行的电话呼叫相比，这种设置的基本问题是通话质量低于平均水平，听起来更像是卡车司机之间的民用电台频段（CB）通信。

许多人已被通过因特网传输语音和进行“免费”呼叫的设想所吸引。这是一种谬误，因为还有很多相关成本，例如额外的网络容量、设备、设备升级、软件等等。

进一步的开发工作是处理网关问题。网关用来将传统的电路交换电话网络和因特网网络桥接起来。网关用户将语音呼叫送到服务提供商的本地“现场点”（POP）或中心局（CO）。网关在此接收到呼叫，将对这个语音信号进行授权，以便转换成数据信息，并通过因特网（或帧中继等其他基于分组的网络）发送。网关开发出来后，就可以与营业级的电话系统互连，并提供传统的拨号、呼叫等各种功能。对于公司客户，特别是要在因特网中进行语音呼叫传输的电信公司和其他服务提供商来说，网关是很关键的。

对很多客户而言，服务质量似乎与成本同样重要，甚至比成本更为重要。如果传统公用交换服务的价格已经降低到接近于日常应用的水平，这一点尤其正确。呼叫质量受到可用带宽、延迟时间管理、回波消除和丢失数据包重建等因素的影响。因特网不是为语音流量设计的，不提供特别强调这些需求的方式。但是，IETF 定义了标准（例如允许用户保留带宽的资源保留协议——RSVP），用以改进通话质量。由于标准只是推荐性的，要将它们集成到设备和软件中可能需要相当长的时间。这些功能的广泛应用可能需要更长的时间。然而没有这些功能，语音呼叫的质量就要受到威胁。

基于帧中继的语音传输（VoFR）

帧中继是一种连接到基于分组的网络服务的高速接口标准。其动态带宽分配可支持商业环境下特有的“突发”流量。其性能通常依赖于高质量的线路，高质量的线路减少了对差错检测和差错控制功能的需要。基于帧中继的语音传输（VoFR）技术，为通过帧中继网络将语音和语音频段的数据（亦即传真和模拟调制解调器）与数据服务合并提供了可能，如图 8.27 所示。

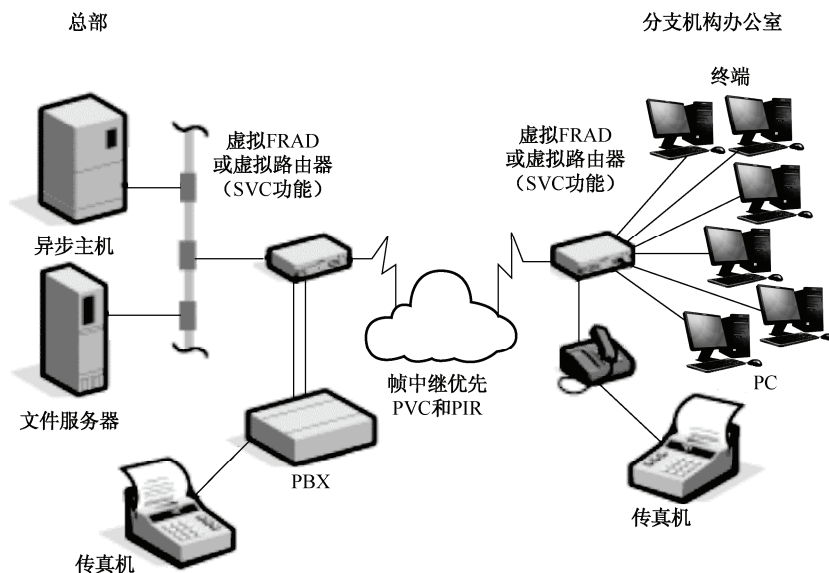


图 8.27 基于帧中继的语音传输

拥有帧中继连接的企业就像因特网用户一样，都想使用他们已有的因特网带宽。在过去的几年中，业已证明帧中继是可靠性高、可扩展且通用的数据传输方式。如果要通过帧中继发送语音信号，必须首先将其转换成数据包，可用帧中继接入设备（FRAD）完成该功能。必须将 FRAD 连接到网络中要传输或接收 VoFR 包的所有端点。有很多公司制造 FRAD。FRAD 可以是连接局域网和广域网的路由器或其他用户前端设备（CPE）。

人们期待着大多数公司都在现有传输数据应用的帧中继端口增加语音应用。在这种情况下，各公司需要用支持语音的软件和可能的硬件来升级其 FRAD（或路由器）。在帧中继项目中，各公司会购买支持语音、传真和数据的新型路由器和 FRAD。

在小型办公环境下，客户可以将电话直接连接到路由器或 FRAD 的模拟语音端口。更大的设置可以将专用小交换机（PBX）通过 T1 接口的端口直接连接到路由器。传真机可以直接连接到路由器或 FRAD，也可以通过 PBX 连接。

通过帧中继传输语音的另外一个考虑是适当限制网络的规模。很多电信公司和 FRAD 运营商建议提高语音信道的优先级，以确保有效容量和使发生延迟的几率最小化。通过给数据和语音包指定独立的永久虚通道（PVC），企业可以规划其帧中继网络，以优化使用，并减少制约数据包或语音分组传输的网络拥塞的可能性。

VoIP网络构件

基于 IP 的语音传输（VoIP）网络由一些构件组成。ITU-T H.323 分组多媒体标准规定的构件有：终端、多点控制单元（MCU）、网关（GW）以及网守（GK，gatekeeper）等。而介质网关控制协议（MGCP）的基本构件包括介质网关、网关控制器、交换机/路由器与 PSTN 等。

其中一些构件在所有 VoIP 网络的实现中都要用到。

ITU-T H.323 标准

H.323 标准规定了在基于分组的网络上传输实时音频、视频和进行数据通信的构件、协议和规程。基于分组的网络包括基于 IP 或基于 Novell (IPX) 的局域网 (LAN)、企业网、城域网 (MAN) 和广域网等。

根据所传输的业务类型, H.323 的应用方式可以多种多样:

- ▶ 只有音频 (IP 电话);
- ▶ 音频和视频 (视频电话);
- ▶ 音频和数据;
- ▶ 音频、视频和数据;
- ▶ 多点多媒体通信 (音频或视频会议)。

因为 H.323 标准提供的服务数也数不清, 因而它可应用于许多领域, 包括消费业、企业、娱乐业等。

H.323v1: 视频电话 H.323 标准的第一版 (H.323v1) 于 1986 年 10 月颁布, 它定义了可视电话系统和不提供服务质量 (QoS) 保障的局域网设备。可见, 第一版大大加重了局域网环境下多媒体通信的负担。

H.323v2: 基于分组的多媒体 VoIP 应用 (又称 “IP 电话”) 的出现, 没有得到任何标准的指导。而标准的缺乏导致出现不兼容的 IP 电话产品, 所以当时急需修订 H.323 标准。

VoIP 提出了新的要求, 如需在基于 PC 的电话与 PSTN 电话之间建立通信。H.323 标准的第二版 (H.323v2) 增加了对这些附加要求的建议, 并于 1998 年颁布。

H.323v3 一些新的特性最近将加到 H.323 标准中, 形成 H.323 标准的第三版 (H.323v3)。这些新增的特性包括基于分组网络的传真、网守 (GK) 到网守 (GK) 的通信以及快速连接机制等。

H.32x 系列的其他标准 H.323 标准是 ITU-T 规定的 H.32x 系列建议的一部分。该系列其他建议规定了基于不同网络的多媒体通信服务:

- ▶ H.324——SCN, 如公用电话系统;
- ▶ H.320——ISDN;
- ▶ H.321 和 H.310——B-ISDN;
- ▶ H.322——提供 QoS 保障的局域网。

制定 H.323 标准的一个主要目的, 是提供与其他多媒体服务网络的互操作性。互操作性通过使用网关来实现。

H.323 网络构件

ITU-T H.323 分组多媒体标准规定了 4 种构件, 大多数 VoIP 解决方案的制造商已经采用

这些构件。这些构件提供 VoIP 网络的点对点或点对多点多媒体通信服务。

- ▶ 终端;
- ▶ MCU;
- ▶ 网关 (GW);
- ▶ 网守 (GK)。

并非每一 VoIP 网络都同时需要这些构件。而且,网守、网关和 MCU 在逻辑上都具有独立的 VoIP 网络功能。

终端 H.323 终端用于实时双向多媒体通信,它可以是 PC 或运行 H.323 协议栈的独立设备。终端必须支持音频通信,同时有选择地支持视频或数据通信。因为 H.323 终端提供的基本服务是音频通信,因而其终端在 IP 电话业务中起着关键作用。

H.323 的主要目标是与其他多媒体终端相互工作。所以,H.323 终端与遵守 H.32x 系列标准的其他终端是兼容的。

MCU MCU 可协调 3 个以上 H.323 终端的多点会议。参加会议的所有终端都必须与 MCU 建立连接。MCU 对会议资源进行管理,在选择音频或视频编解码器 (Codec) 的各终端之间进行协调,还可以处理介质流。如果多点会议不使用 H.323 网络,那么就不需要 MCU。

网关 有时候,所有基于局域网的电话系统都需要连接到 PSTN,这就需要网关在包交换与电路交换之间转换语音信号格式。通常,H.323 网关在 H.323 网络与非 H.323 网络之间提供连接。当然,在两个相同的 H.323 网络终端之间的通信就不需要网关。

网关在 H.323 终端与 PSTN 之间提供通信。网关将分组化的语音转换为 PSTN 可以接收的格式。由于分组网络语音的数字化格式通常与 PSTN 上的格式不同,网关也能互相转换格式。所以,这些设备经常被称作“译码网关”。网关支持以下类型的连接:

- ▶ 模拟 (标准电话);
- ▶ T1 或 E1;
- ▶ ISDN。

网守 (GK) 网守可以看作 H.323 网络的大脑,它是 H.323 网络内所有呼叫的焦点。网守可提供许多重要的服务,如:寻址、终端和网关的授权和验证、记账、报表以及收费等。它还可以提供呼叫控制和语音交换服务。

网守最重要的功能是限制实时网络连接的数量,以便这些连接不会超出有效网络带宽。实时的应用在想要进行会话之前必须经过网守注册。网守可以拒绝一个会话请求,也可以以降低的数据速率批准该请求。这个功能对于视频连接是最重要的,因为视频消耗大量的带宽来获取高质量的连接。

尽管网守不是必需的设备,但如果网络上存在一个网守,则所有终端都必须使用它的服务。一个网守管理下的所有终端、网关和 MCU,称为一个 H.323 区。H.323 区可以是独立的网络拓扑结构,它可以由通过路由器和其他设备连接起来的多个网段组成。H.323 区如图 8.28 所示。

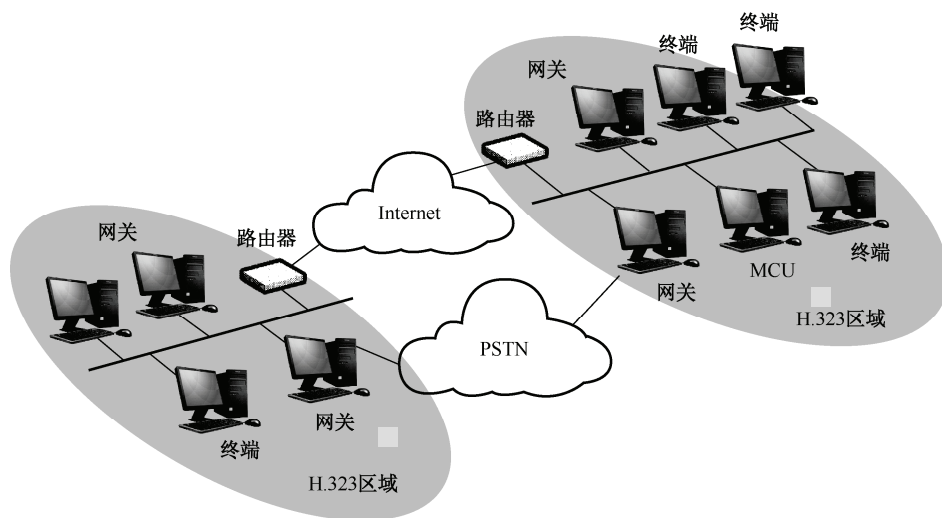


图 8.28 H.323 区

MGCP

MGCP 是由 IETF 首先提出的, 它定义了呼叫网关依靠接收一个 ITU-T E.164 地址 (PSTN 电话号码) 来通知被叫方网守的方法。MGCP 用来从外部网关控制单元控制电话网关, 这个控制单元称为介质网关控制器或呼叫代理。电话网关是一个网络单元, 用来提供标准电话电路上承载的模拟音频信号与因特网或其他分组网络上承载的数据包之间的转换。

MGCP 假设了一个呼叫控制体系, 其中呼叫控制信息都在网关之外, 由外部网关控制单元处理。MGCP 假设这些呼叫控制单元 (或呼叫代理) 将相互之间同步, 以向它们控制下的网关发送相互协调的命令。MGCP 实质上是一个主从协议, 其中所有网关都准备执行呼叫代理发出的命令。

网络构件 MGCP 网络构件包括介质网关 (MG)、介质网关控制器 (MGC), 如图 8.29 所示。图中显示了这些设备及其在网络中的位置。

- 介质网关 (MG) —— 一个提供转换功能的网络结点, 用以通过不同的传输网络承载用户信息。MG 可以是 CPE 设备、数据网络, 也可以是到运营商网络之间的多媒体连接。MG 支持电路交换与分组网络之间的转换, 它位于分组电话网络的边缘。MG 的组成包含有: 端点, 即介质流的进出点; 住宅网关, 即提供住宅用户 POTS 线路终接的介质网关 (MG); 连接, 即网络内不同 MG (或单个 MG) 上的端点之间的纽带, 用于在这些端点之间传送数据; 呼叫, 即不同端点之间的呼叫组连接, 呼叫连接可以是主动的, 也可以是被动的。
- 介质网关控制器 (MGC) —— 保持呼叫控制信息的网络设备, 它给一个或多个 MG 提供指令。在某些规范 (如 SGCP) 中, MGC 也称为呼叫代理。MGC 可以是一个或

多个服务器,其中有一些控制 MG 功能所需的软件和协议在运行,包括呼叫和连接控制以及资源管理。MGC 终止和启用所有与呼叫有关的信令,保存 MG 资源(如承载电路和实时协议流)的清单,并指导 MG 在必要时保留或释放资源。在 H.323 网络中,MGC 执行网守的功能,也可以提供网关的一些功能。在 PSTN 中,MGC 驻留在运营商的交换中心(CO)中,取代 5 类本地交换机的电话功能。

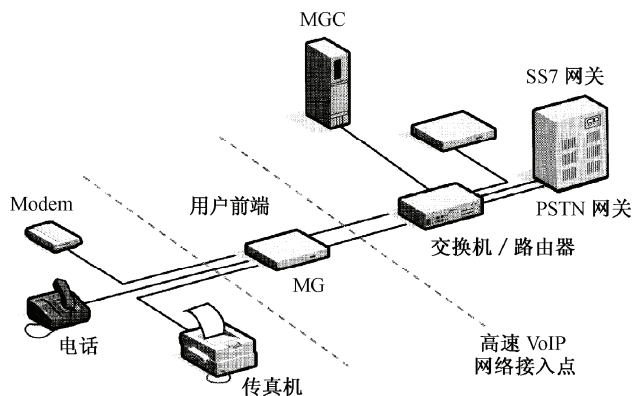


图 8.29 MGCP 网络构件

MGCP 呼叫控制事务 MGCP 通过一整套的事务来实现 MG 控制接口。这些事务都是由 1 个命令和 1 个管理响应组成的。其命令的类型有以下 8 种:

- ▶ CreateConnection——由 MGC 发送给 MG,用来建立两个端点之间的连接;
- ▶ ModifyConnection——由 MGC 发送给 MG,用来修改一个呼叫参数,如需要的资源等;
- ▶ DeleteConnection——由 MGC 发给 MG,用来释放一个呼叫及其资源;
- ▶ NotificationRequest——由 MGC 发送给 MG,用来请求特定的端点事件通告消息;
- ▶ Notify——由 MG 发送给 MGC,用来显示出现了一个特定的事件;
- ▶ AuditEndpoint——由 MGC 发送给 MG,用来确定端点的状态;
- ▶ AuditConnection——由 MGC 发送给 MG,用来检索一个连接的参数;
- ▶ RestartInProgress——由 MG 发送给 MGC,用来显示一个端点启动、线路初始化、重新启动或不服务的状态。

专用VPN

在电话领域,专用虚拟专用网(VPN)是一组互连的通信系统。这些通信系统由长途交换通信公司(IXC)提供,如 AT&T 公司的软件定义网络(SDN)、MCI 公司的 Vnet 服务以及 Sprint 公司的 VPN 服务等。处于每个系统范围内的人们(称为本地用户),可以与处在该网络各通信系统中的其他人交换语音和数据。专用 VPN 中的通信系统可以位于同一个园区,也可以利用国际合作伙伴提供的设备而分开放置在几千里之外。

例如，许多机构在不同的地区有多个办公地点，此时它们通常在每个分支办公室设置一个 PBX 系统，然后利用公用电话交换网（PSTN）来处理这些系统之间的通信。这种通信方式如图 8.30 所示。

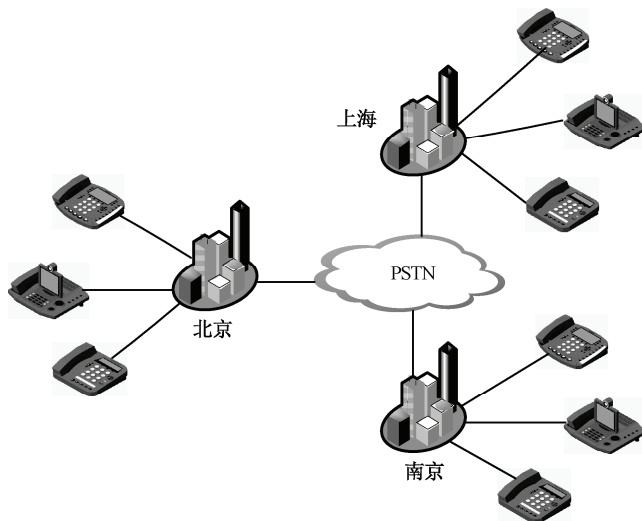


图 8.30 公用通信网

只要各地点之间的电话业务量不大，这种通信方式就能很好地工作。但是，对于具有更高水平的长途业务需求的一些公司来说，采用租用专线来连接各地办公室意义更大。这种通信方式如图 8.31 所示。

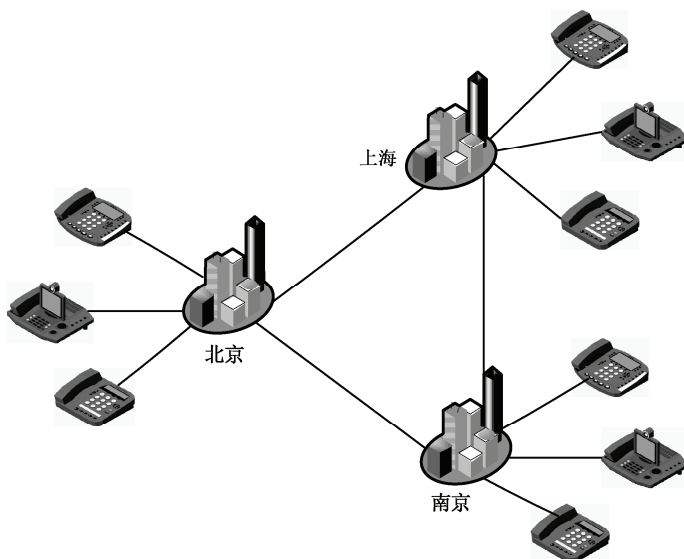


图 8.31 专用通信网

在专用网络中,不同的通信系统通过专用传输设施链接起来。这些线路/中继线既可以是模拟专线中继线、仿真 T1 专线中继线,也可以是 ISDN-PRI 中继线。

组合后的专用网络具有公用网络一样的灵活性,当一个公司需要对它进行控制时,可以采用语音 VPN。AT&T 公司的 SDN 在 AT&T 结点体系结构中是一个旗舰式 VPN 产品,它使用户可以通过 AT&T 公用交换网络设施实现公司 VPN。

SDN 是驻留在基于 AT&T 4ESS 的交换全球智慧网(WIN)之上的一个用户 VPN。它提供了专用网络中通常不具备的特性和管理能力,如客户化路由选择、先进编号计划、呼叫屏蔽、授权码、远程访问、安全码以及客户化记账等。另外,VPN 还提供类似于专线所提供的传输特性,如线路调节、差错检测和通过全双工四线拨号电路的高速连接。

每个 SDN 都包含一个网络控制点(NCP),公司唯一的 VPN 数据库就驻留在 NCP 上。该数据库确定一个呼叫是在网(保持在 VPN 之内)还是离网(在这一点离开 VPN),并确定该呼叫经过的路径。接收和处理呼叫的 SDN 服务局负责 VPN 的维护工作。VPN 服务完全支持速率达 28.8 kb/s 的模拟数据传输和 56 kb/s 或 64 kb/s 的端对端数字数据传输。

SDN 与大多数专用网络和 PBX 兼容,因此保护了这些已有的投资。由于 SDN 不需要建立在先进的 PBX 基础上,因而企业既可选择专用访问方式(T-carrier 或 ISDN),也可选择拨号访问方式。通过提供一个有效的授权码,旅行用户可拨号访问 ISDN。

不管它们是如何实现的,专用网络都不同于世界范围的 PSTN。专用网络在一个机构之内传递呼叫,而 PSTN 线路和中继线将呼叫传递到机构之外的本地或长途用户。一个专用 PBX 网络若实施得当,可以大大节省费用,提高效率,增加用户满意度,提高安全性,而且增加网络的可升级性和灵活性。

练习

1. 在未来几年里,语音网络会发展成什么样子?
2. 在因特网上进行实时语音传输存在哪些问题?
3. 你将选择哪种技术用于你所在单位的语音网络?
4. 描述 MGCP MCU 的各个构件。
5. 简要描述下列设备:
 - a.H.323 终端
 - b.H.323 网关
 - c.H.323 区
 - d.H.323 网守(Gatekeeper)
 - e.H.323 MCU
6. 一个 MGCP MGC 也称为()。
 - a.终端代理
 - b.呼叫代理
 - c.呼叫终止器
 - d.MCU
7. MG 也可以是(): (选 3 项)

- a. 呼叫代理 b. VoIP 网关 c. 调制解调器组 d. 软 PBX
8. 关于语音 VPN, 下面表述正确的是 ()。(选 3 项)
- a. FX 线路可用作语音 VPN 构件
 - b. 语音 VPN 根据主叫方的 ANI 路由呼叫
 - c. 语音 VPN 根据发起呼叫者的地点和所拨的号码路由呼叫
 - d. 语音 VPN 的在网呼叫不经过 PSTN, 从而省去了长途话费
9. 用户如何从 IXC 提供的语音 VPN 中获益? () (选 2 项)
- a. 回波抑制
 - b. 全双工四线服务
 - c. 降低振铃电压
 - d. 线路调节
10. IXC 提供的语音 VPN 如何使用户获益? ()
- a. 它为小型企业用户提供了电信需求上的灵活性和可伸缩性
 - b. 它采用点对点协议 (PPP) 连接远程结点
 - c. 它采用加密和隧道技术来保障网络的安全
 - d. 它给大型企业用户提供电信需求上的灵活性和可伸缩性
11. 关于语音 VPN, 下列表述正确的是 ()。(选 2 项)
- a. 语音 VPN 可利用现有的 Centrex 系统
 - b. 语音 VPN 不如专线
 - c. 每分钟呼叫次数取决于用户对最少平均呼叫流量承诺的满足程度
 - d. 具有密集语音和视频通信需要的大型站点, 可实现很大的费用节省
12. 什么时候一个公司会选择基于专线网络的语音 VPN? ()
- a. 当他们想要保持网络管理可靠性时
 - b. 当其大多数呼叫离网时
 - c. 当他们需要快速进行网络供应和重配置时
 - d. 当他们需要连接多个大数据流量站点时

补充练习

1. 浏览帧中继论坛网站 <http://www.frforum.com>, 查看关于语音传输的信息。
2. 利用因特网和 Web 浏览器, 查找有关下列主题的最新信息:
 - a. H.323 终端
 - b. H.323 网关
 - c. H.323 MCU
 - d. H.323 网守
 - e. 实时传送协议 (RTP)

3. 一个公司位于偏远地区, 且与 IXC 网络没有直接连接, 那么它可否利用语音 VPN? 该用户的大部分呼叫将在哪里路由, 离网还是在网?

本章小结

ISDN 代表的第一代数字交换网络不是面向语音通信的。相反, 它可用来服务于语音、数据、视频、传真和其他各种形式的电子通信等多种目的。ISDN 既是一套服务, 也是一套捆绑的协议。其服务包括: 16 kb/s 的 D 信道, 用于控制信令和其他不需要高数据速率的应用; 64 kb/s 的 B 信道, 用于语音、数据和低速扫描视频服务; H 信道, 用于实时视频、数据网络主干等, 数据速率高达 1920 kb/s。基速率服务提供 1 个 D 信道和 2 个 B 信道。主速率服务提供增加到 T1/E1 的 B 信道和 H 信道。ASDN 还提供永久电路, 比如租用线路、电路交换服务和包交换服务等。

ISDN 协议的体系结构分为两个平行的部分: 一个服务于数据, 一个服务于控制信号。每部分在第 2 层和第 3 层都有自己的一组协议。

现在大部分公司可提供帧中继服务, 并将 X.25 作为可以选择的包交换协议。帧中继运行于第 2 层, 而不是第 3 层。它比 X.25 更快, 开销更少, 并提供 T1 数据速率, 但不提供 X.25 的 DS-0 速率。帧中继可以只为数据提供面向连接的服务。

X.25 可提供上至 OSI 模型第 3 层的广域网服务, 它是帧中继的基础, 它使用电话号码作为目的地址。X.25 在一些国际通信中仍被广泛采用。但是, X.25 正在迅速被吞吐量更大和开销更低的协议所取代。

基于广域网技术的通信融合具有许多可选技术方案。有很多因素驱使企业中技术的融合, 包括宽带广域网连接, 如 T-carrier、DSL 服务提供的连接。H.323 和 SIP 标准向更多、更好的融合产品打开了大门, 采用这些标准的厂商销售的产品之间都可以进行互操作。

ITU-T H.323 推荐标准提供了通过包交换网络承载多媒体业务所需的进程和协议。H.323 规定了 4 种构件: 终端、MCU、网关和网守。其中终端是 H.323 端点; MCU 协调 H.323 端点之间的多点会议; 网关提供 PSTN 和分组网络之间的通信接口; 网守则对 H.323 连接请求进行授权和验证, 准许或拒绝连接请求, 并对每个连接如何获取有效网络带宽进行控制。MGCP 提供了从外部设备控制电话网关的方法, 该外部设备称为 MGC 或呼叫代理。MGCP 定义了一个主从环境, 其中 MGC (主) 控制 MG (从)。MGC 在 H.323 网络中执行网守的功能。

为了帮助公司用户减少其通信开支, 同时增加语音网络功能, IXC 提供专用 VPN。专用 VPN 支持 T-carrier、ISDN, 甚至模拟语音线路和中继线。

广域网技术为经常往返两地之间的人和远方办公室提供了远程网络访问服务。ISDN、DSL 甚至拨号线路都可以在用户和现场之间传送语音、视频和数据业务。

小测验

1. ISDN 数据链路层协议是 ()。
a. HDLC b. LAP-D c. LAP-B d. SDLC
2. 下列哪个不是 ISDN 信道? ()
a. A 信道 b. B 信道 c. D 信道 d. H 信道
3. ISDN 的基速率是 ()。
a. 64 kb/s b. 144 kb/s c. 1.544 Mb/s d. 45 Mb/s
4. ISDN 的主速率是 ()。
a. 64 kb/s b. 144 kb/s c. 1.544 Mb/s d. 45 Mb/s
5. ISDN 相对于 DDS 的一个特点是 ()。
a. 本地环路上语音和数据等服务的灵活性 b. 提供高速服务
c. 使用 64 kb/s 作为其基本构件 d. 以上全部
6. ISDN 的一个关键概念是 ()。
a. 多种协议的集成 b. 通过单一物理链路的多种服务的集成
c. 计算机设备的集成 d. 网络组件的集成
7. ISDN 支持下列哪种形式的通信流? ()
a. 视频 b. 语音 c. 数据 d. 以上全部
8. ISDN 传输的大部分信息与下列哪种信道有关? ()
a. A 信道 b. B 信道 c. C 信道 d. D 信道
9. 多种 ISDN 信道的组合是指 ()。
a. D 信道 b. H 信道 c. X 信道 d. 虚通道
10. 基速率 ISDN 的有效速率是 ()。
a. 64 kb/s b. 128 kb/s c. 144 kb/s d. 1.544 Mb/s
11. 帧中继比 X.25 更简单和更有效的一个原因是 ()。
a. 运行于数据链路层而不是分组层 b. 使用数字电路传输数据
c. 是一种较新的技术 d. 帧中继不比 X.25 简单
12. 下面哪个是帧中继网络中的虚电路? ()
a. DLCI b. FECN c. BECN d. CBS
13. 帧中继网络中的 CIR 的最大特点是 ()。
a. 确保平均速率 b. 确保最大速率
c. 在给定时间间隔内传输的比特数 d. 在给定时间间隔内传输的字节数
14. 如果设定了 DE 位, 则表示 ()。
a. 当与 SONET 同时使用时, 帧可以被丢弃
b. 当与 T1 同时使用时, 帧可以被丢弃
c. 帧可以被发送到低速链路

- d. 当出现拥塞时, 帧可以被丢弃
15. 帧中继是从下列哪个协议改编过来的? ()
- a. T1 b. T3 c. ISDN d. ATM
16. 帧中继是一种 ()。
- a. 无连接、面向帧的服务 b. 面向连接的物理层服务
- c. 无连接的包传输服务 d. 面向连接的交换服务
17. 典型的帧中继速率是 ()。
- a. 28.8~56 kb/s b. 56~128 kb/s
- c. 56 kb/s ~1.544 Mb/s d. 1.544 Mb/s~2.4 Gb/s
18. 之所以帧中继比 X.25 更有效, 是因为 ():
- a. 传输信息所用的层更少 b. 传输信息所用的层更多
- c. 帧中继并不比 X.25 更有效 d. 网络层的包类型是不同的
19. 以下技术中开销最低的是 ()。
- a. 包交换 b. X.25 包交换 c. 帧中继 d. SONET
20. 下面哪种语音通信技术会被其他 3 种所取代? ()
- a. TCP/IP b. 帧中继 c. ATM d. 租用线路
21. MG 由下面哪两个构件组成? ()
- a. 控制器 b. 呼叫代理 c. 端点 d. 连接
22. 提供付账、验证和记账的 H.323 构件是 ()。
- a. 网关 b. 网守 c. 代理 d. 终端
23. 哪一个 MGCP 命令消息引导 MG 释放呼叫? ()
- a. eleteConnection b. NotificationRequest
- c. AuditEndpoint d. RestartInProgress
24. 哪一个 MGCP 命令消息引导 MG 返回一个端点的状态? ()
- a. DeleteConnection b. NotificationRequest
- c. AuditEndpoint d. AuditConnection
25. 哪一个 MGCP 命令消息向 MG 指出线路正在进行初始化? ()
- a. RestartInProgress b. NotificationRequest
- c. AuditEndpoint d. AuditConnection
26. MGCP 也称为什么类型的协议? ()
- a. 主从 b. 对等 c. 客户机/服务器 d. 转换编码
27. 在语音 VPN 中存储公司 VPN 数据库的设备是 ()。
- a.NCP b.SDN 服务局 c.虚拟控制点 d.信令传送点
28. 语音 VPN 支持的数据速率是 ()。(选 2 项)
- a.56 kb/s 模拟数据 b.28.8 kb/s 模拟数据
- c.56/64 (kb/s) 数字数据 d.128 kb/s 数字数据

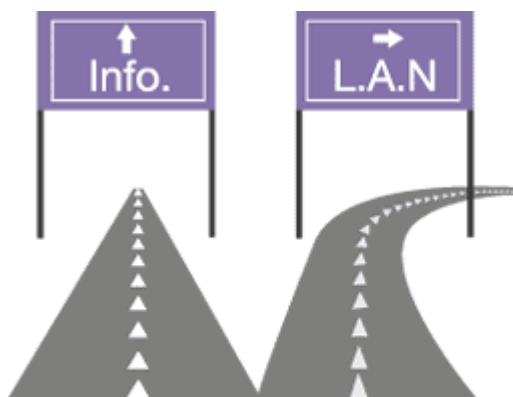
29. VPN 数据库执行的功能是 ()。(选 2 项)
- a. 确定呼叫通路
 - b. 接收和处理呼叫
 - c. 决定一个呼叫是否在网
 - d. 实现 VPN 到 PSTN 的网关
30. 单个 POTS 远程访问线路的最大下载速率是 ()。
- a. 56 kb/s
 - b. 28.8 kb/s
 - c. 33.6 kb/s
 - d. 128 kb/s



第九章

远程访问及配置

- 1 远程访问技术
- 2 配置 VPN 远程访问服务
- 3 配置拨号远程访问服务



概 述

远程访问就是通常所说的远程接入。利用路由和远程访问技术,可以将 Windows Server 2008 服务器配置为远程访问服务器,能将远程或移动办公的工作人员连接到公司内部的网络上。远程用户最常用的访问方式是拨号线路 PSTN(公用电话交换网)或 ISDN(综合业务数字网)。远程计算机拨入到公司内部网络之后,可以与本地网中的计算机具有完全一样的地位,可以共享资源、使用各种内部的服务。也就是说远程用户使用计算机时,就像是直接连接到公司内部网络上一样工作。

作为远程访问有两种方式:一种是远程控制;另一种是远程客户端访问。远程控制就是利用远程计算机遥控本地计算机,如同在本地直接使用这台计算机一样。远程客户端访问是 Windows 拨号网络所支持的方式,需要分别配置远程访问服务器和远程访问客户端。

远程访问的配置是组网中的基本技术。本章主要讨论基于 Windows Server®2008 的专用虚拟专用网(VPN)和公用电话交换网(PSTN)远程访问服务及其配置,以使远程访问客户端可以通过广域网(WAN)基础结构连接到远程访问服务器。

第一节 远程访问技术

通常,用户在公司局域网中的计算机上能够直接访问本局域网中服务器上的资源。但是,如果用户由于某种原因希望在另外一个地点仍然能够访问公司局域网中的资源,而且希望这种访问与他在公司局域网中的计算机上访问该局域网中的资源完全一样,应如何解决?

Windows Server®2008 提供了路由和远程访问(RRAS)服务功能。通过将“路由和远程访问”配置为充当远程访问服务器,可以将远程工作人员或流动人员连接到企业机构的内部网络上。运行“路由和远程访问”的服务器提供虚拟专用网(VPN)和拨号网络两种类型的远程访问连接。远程访问的配置属于客户机/服务器工作模式。

学习目标

- ▶ 掌握拨号远程访问配置的概念及远程访问连接的类型;
- ▶ 了解拨号远程访问连接的组件;
- ▶ 掌握路由和远程访问服务的安装和启动。

关键知识点

- ▶ 使远程访问客户端可以使用广域网(WAN)基础结构连接到远程访问服务器是拨号远程访问的一种解决方案。

远程访问概述

近年来,各种组织机构的移动性要求越来越高,而且在地理上越来越分散。相应地,许多网络的设计也已经考虑了远程访问技术。通过采用远程接入技术,可为经常往返两地之间的人、远方工作人员和移动职员提供网络访问。远程访问的配置是组网中的基本技术,远程计算机可以通过电话线和其他公用网络连接到本地局域网,使用本地局域网上的资源。

例如,若用户希望在另外一个地点对公司局域网中的资源进行访问,他往往需要利用某种已有的广域网进行,如 PSTN (公共电话交换网)、ISDN (综合业务数字网) 以及 Internet 等。从公司局域网的角度来看,把用户跨过广域网而对公司局域网所实施的访问称为“远程访问”,而把这个实施远程访问的用户称为“远程用户”,把远程用户执行远程访问所使用的计算机称为“远程访问客户机”。为了对用户远程访问提供支持,需要在公司的局域网中选择一台计算机,这台计算机至少应该具有两个网络接口,一个连接局域网,另一个连接广域网。然后,在这台计算机上安装“远程访问服务”,由它来提供对远程访问的支持,这台用来提供远程访问服务的计算机称为“远程访问服务器”,由它负责接受用户的远程访问。

当用户在一台远程访问客户机上希望对公司局域网实施远程访问时,这台远程访问客户机必须跨过广域网与远程访问服务器建立起通信信道,然后再由公司局域网为它分配局域网中的一个有效 IP 地址,此时就相当于把这台远程访问客户机接入公司局域网中,这样用户就可以使用公司局域网中一个具有远程访问权限的用户账户进行登录,登录成功后用户便以这个账户身份访问公司局域网中的资源,这种访问与用户在公司局域网中的计算机上访问该网络中的资源完全一样,即:原来在局域网中能够访问什么资源,在远程访问客户机上也能访问到这些资源。

Windows Server®2008 为提高“路由和远程访问”的安全性和易管理性设计了许多新功能,主要新增如下功能:

- ▶ 服务器管理器;
- ▶ SSTP 隧道协议;
- ▶ VPN 的网络访问保护强制;
- ▶ IPv6 支持;
- ▶ 新的加密支持。

基于 Windows Server 2008 的远程访问服务器主要支持以下两种不同类型的远程访问连接。

虚拟专用网 (VPN) 连接

远程访问功能提供 VPN 服务,使用户可以通过 Internet 访问公司网络,仿佛他们直接连接到公司网络上。远程访问还使使用拨号通信链路的远程工作人员或流动工作人员可以访问公司网络。

VPN 可以跨专用网络或公用网络 (如 Internet) 创建安全的点对点连接。VPN 客户端使用基于 TCP/IP 的特殊协议 (称为隧道协议) 对 VPN 服务器上的虚拟端口进行虚拟呼叫。虚拟

专用网的最佳示例，是与连接到 Internet 的远程访问服务器建立 VPN 连接的 VPN 客户端。远程访问服务器应答虚拟呼叫，对呼叫者进行身份验证，并在 VPN 客户端与公司网络之间传输数据。

与拨号网络相反，VPN 始终是通过公用网络（如 Internet）在 VPN 客户端与 VPN 服务器之间建立的逻辑间接连接。为了确保隐私安全，必须对通过该连接发送的数据进行加密。

拨号网络连接

在拨号连接中，远程访问客户端使用电信提供商的服务（如模拟电话和 ISDN）与远程访问服务器上的物理端口建立非永久的拨号连接。拨号网络的最佳示例，是拨打远程访问服务器的一个端口的电话号码的拨号网络客户端。

基于模拟电话或 ISDN 的拨号网络是拨号网络客户端与拨号网络服务器之间的直接物理连接。Windows 系列拨号网络所支持的连接方式主要是在远程客户端安装 Modem，通过公用电话交换网（PSTN）与本地网络连接，当然也可以通过 ISDN、X.25 等连接；对于通过该连接发送的数据可以进行加密，但并非必须。

常用远程访问配置

在运行服务器管理器的“路由和远程访问服务器安装向导”时，会提示用户选择与要部署的远程访问解决方案最近似的配置路径，如图 9.1 所示。最常用的远程访问解决方案包括：远程访问（拨号或 VPN）连接，网络地址转换（NAT），虚拟专用网（VPN）访问和 NAT，以及

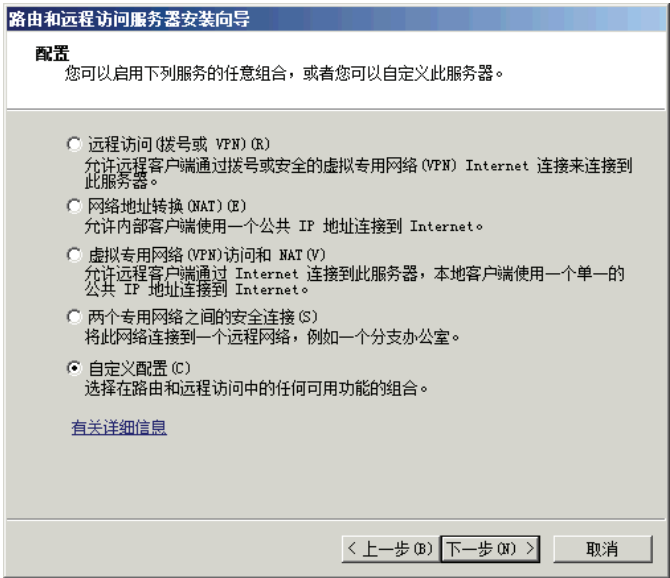


图 9.1 “路由和远程访问服务器安装向导”对话框

两个专用网络之间的安全连接。如果没有完全满足需要的向导配置路径，可以在向导完成后进一步配置服务器，也可以选择自定义配置路径。但是，如果选择自定义配置路径，必须手动配置“路由和远程访问”的所有元素。

远程访问（拨号或 VPN）连接

在图 9.1 中，如果选择“远程访问（拨号或 VPN）”，需要配置以下两种连接路径：

- ▶ 拨号连接——配置路径如图 9.2 所示。运行“路由和远程访问”的服务器将配置为允许远程访问客户端通过拨入调制解调器组或其他拨号设备来连接到专用网络。若要在向导中配置此服务器类型，则选中“远程访问”复选框，然后按照提示步骤操作。向导完成操作步骤后，可以配置其他选项。例如，可以配置服务器如何应答呼叫、服务器如何验证哪些远程访问客户端有权连接到专用网络，以及服务器是否在远程访问客户端与专用网络之间路由网络通信。

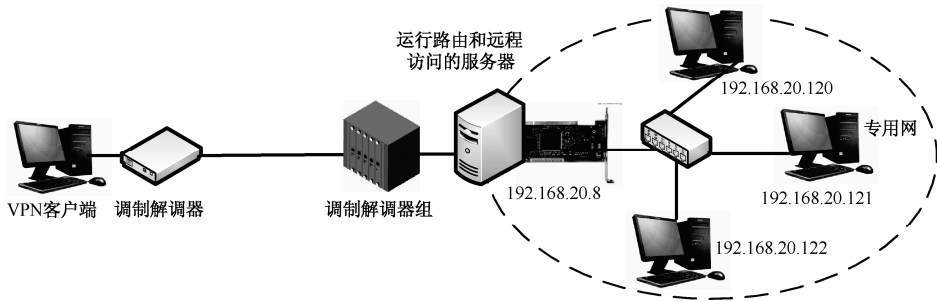


图 9.2 远程访问拨号连接

- ▶ VPN 连接——配置路径如图 9.3 所示，运行“路由和远程访问”的服务器将配置为允许远程访问客户端通过 Internet 连接到专用网络。若要在向导中配置此服务器类型，则选中“远程访问”复选框，然后按照提示步骤操作。向导完成步骤后，可以配置其他选项。例如，可以配置服务器验证哪些 VPN 客户端有权连接到专用网络的方式，以及服务器是否在 VPN 客户端与专用网络之间路由网络通信。

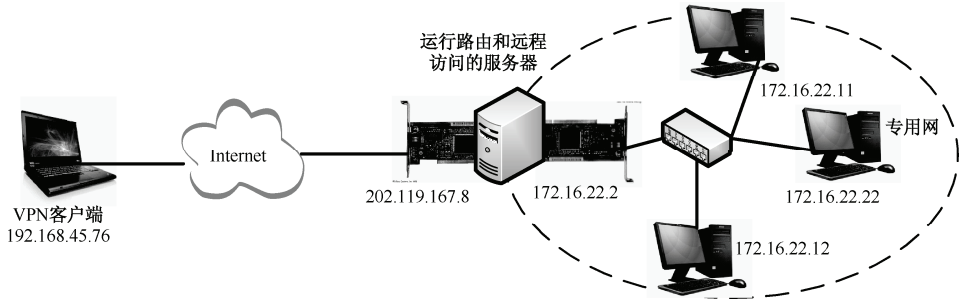


图 9.3 远程访问 VPN 连接

网络地址转换

如果在图 9.1 中选择“网络地址转换 (NAT)”，则配置路径如图 9.4 所示，运行“路由和远程访问”的服务器将配置为与专用网络上的计算机共享 Internet 连接，并在其公用地址与专用网络之间转换通信。Internet 上的计算机将无法确定专用网络上计算机的 IP 地址。

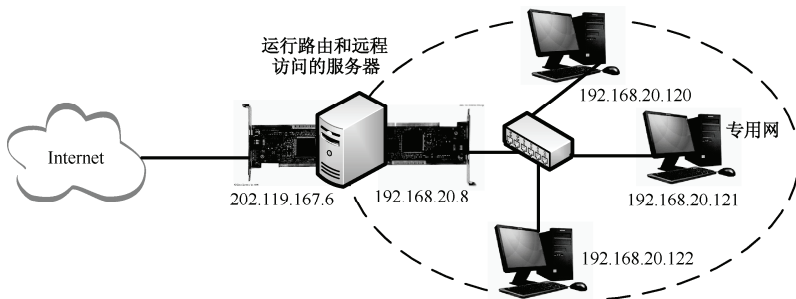


图 9.4 网络地址转换

若要在向导中配置这种服务器类型，则单击“网络地址转换 (NAT)”，然后按照提示步骤操作。向导完成操作步骤后，可以配置其他选项。例如，可以配置数据包筛选器，并选择在公用接口上允许运行哪些服务等。

VPN 和 NAT

如果在图 9.1 中选择“虚拟专用网 (VPN) 和 NAT”配置，则配置路径如图 9.5 所示，运行“路由和远程访问”的服务器将配置为提供专用网络的 NAT 并接受 VPN 连接。Internet 上的计算机将无法确定专用网络上的计算机的 IP 地址。但是，VPN 客户端将可以连接到专用网络上的计算机，仿佛它们实际连接到了同一个网络上。

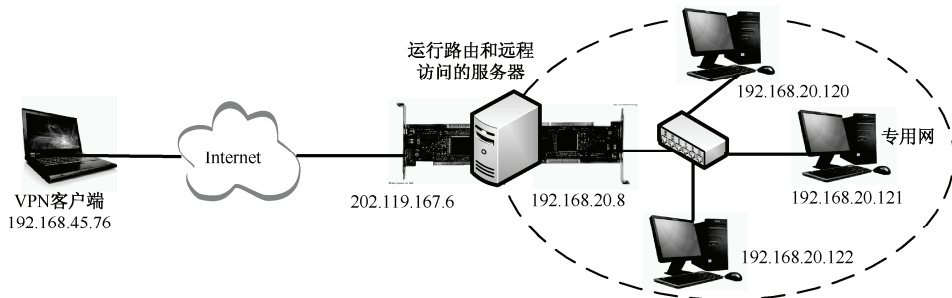


图 9.5 VPN 和 NAT

若要在向导中配置这种服务器类型，可单击“虚拟专用网络 (VPN) 访问和 NAT”，然后按照提示步骤操作即可。

两个专用网络之间的安全连接

如果在图 9.1 中选择“专用网络之间的安全连接”，则配置路径如图 9.6 所示，运行“路由和远程访问”的两台服务器将配置为通过 Internet 安全地发送专用数据。在每台服务器上运行“路由和远程访问服务器安装向导”时，必须选择此路径。两台服务器之间的连接可以是永久性的（始终连接）或请求式的（请求拨号）。

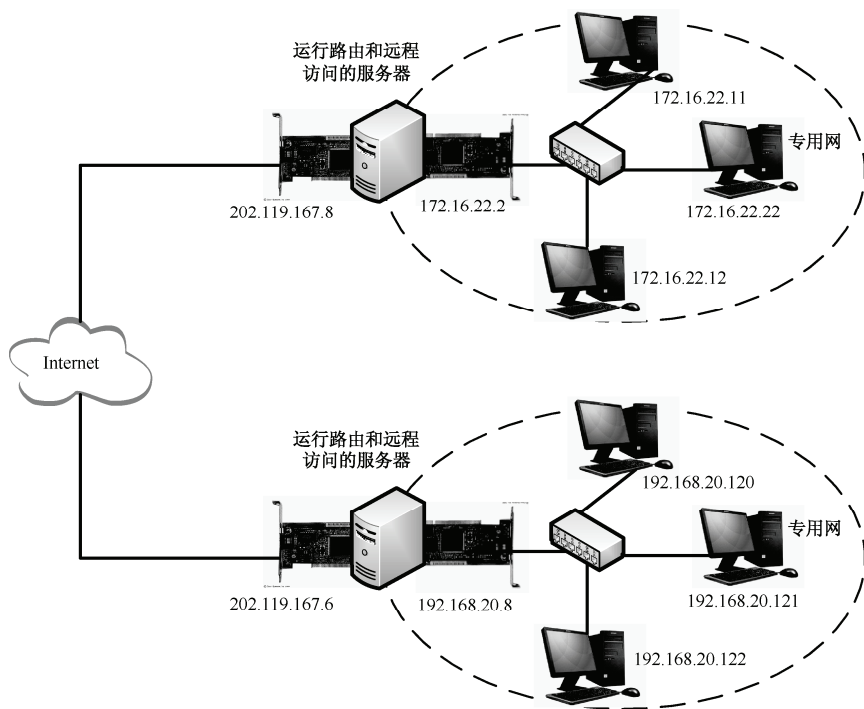


图 9.6 专用网络之间的安全连接

若要在向导中配置这种服务器类型，可单击“两个专用网络之间的安全连接”，然后按照提示步骤操作。向导完成操作步骤后，可以为每台服务器配置其他选项。例如，可以配置每台服务器接受哪些路由协议，以及每台服务器通过哪种方式在两个网络之间路由通信。

远程访问拨号连接的组件

拨号远程访问是一种远程访问技术。在 Windows Server 2008 所包含的“路由和远程访问”中它作为一项功能提供。对于拨号远程访问，远程客户端需要使用电信基础结构与远程服务器上的端口建立临时的网络线路或虚拟线路后，才可以协商其他连接参数。因此，远程访问拨号连接包含了下列组件（如图 9.7 所示）：

- 远程访问客户端；

- ▶ 远程访问服务器；
- ▶ 拨号设备和 WAN 基础结构。

远程访问客户端 运行 Windows Server 2008、Windows Server 2003、Windows XP、Windows 2000、Windows NT4.0、Windows Millennium Edition 和 Windows98 的远程访问客户端，可以连接到运行 Windows Server2008 的远程访问服务器。几乎所有 PPP 远程访问客户端（包括 UNIX 和 Macintosh）都可以连接到运行 Windows Server 2008 的远程访问服务器。

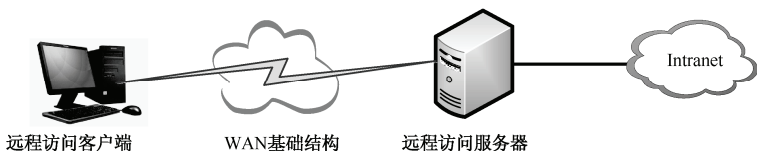


图 9.7 远程访问拨号连接的组件

远程访问服务器 运行 Windows Server 2008 的远程访问服务器接受拨号连接，并在远程访问客户端与远程访问服务器连接到的网络之间转发数据包。

拨号设备和 WAN 基础结构 通过远程访问客户端、远程访问服务器和 WAN 基础结构上安装的拨号设备，可以很方便地在远程访问服务器与远程访问客户端之间建立物理连接或逻辑连接。根据连接类型的不同，拨号设备和 WAN 基础结构也会有所不同。最常用的拨号远程访问方法之一是公用电话交换网（PSTN）。

PSTN 也称为普通电话服务（POTS），是用于携带分辨人类语音所需的最低频率的模拟电话系统。拨号设备由远程访问客户端上的模拟调制解调器和远程访问服务器上的模拟调制解调器（至少一个）组成。对于大型组织，远程访问服务器连接到包含多达数百个调制解调器的调制解调器组。由于 PSTN 并非为传输数据而设计，所以与其他连接方法相比，其传输比特率有限。标准 PSTN 连接如图 9.8 所示。

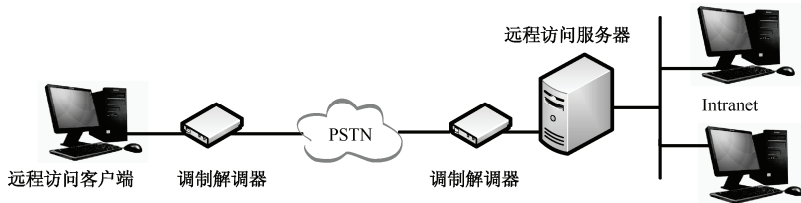


图 9.8 标准 PSTN 连接示意图

PSTN 的最高比特率取决于 PSTN 交换机传递的频率范围以及连接的信噪比。现在的模拟电话系统只有在本地环路上是模拟的，通过一组线路将客户连接到总部（CO）的 PSTN 交换机。模拟信号到达 PSTN 交换机之后，将转换为数字信号。

如果远程访问服务器使用基于 T-Carrier 或 ISDN 的数字交换机（而不是模拟 PSTN 交换机）连接到 CO，远程访问服务器向远程访问客户端发送信息时没有模数转换。由于返回远程访问客户端的路径中没有量化噪声，所以信噪比较高，从而最高比特率也较高。这项技术通常称为

V.90。通过 V.90 技术，远程访问客户端可以 33.6 kb/s 发送数据，以 56 kb/s 接收数据。若要达到 V.90 的速度，必须符合下列条件：

- ▶ 远程访问客户端需使用 V.90 调制解调器；
- ▶ 远程访问服务器需使用 V.90 数字交换机，并使用数字链路（如 T-Carrier 或 ISDN）连接到 PSTN。
- ▶ 从远程访问服务器到远程访问客户端的路径中不能有任何模数转换。

使用 V.90 建立的 PSTN 连接示意图如图 9.9 所示。

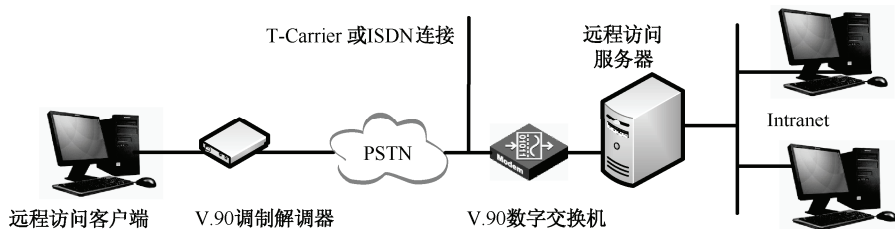


图 9.9 使用 V.90 建立的 PSTN 连接

安装和启用路由和远程访问服务

Windows Server 2008 系列中的“路由和远程访问”服务提供：

- ▶ 虚拟专用网（VPN）远程访问和拨号服务；
- ▶ 多协议 LAN-to-LAN、LAN-to-WAN、VPN 和网络地址转换（NAT）路由服务。

可使用“添加角色向导”安装“路由和远程访问”服务。

安装路由和远程访问服务

服务器管理器是一项新功能，用于引导信息技术（IT）管理员完成安装、配置和管理 Windows Server 2008 中的服务器角色和功能。服务器管理器在管理员完成“初始配置任务”中列出的任务之后自动启动。之后，会在管理员登录到服务器时自动启动。

通过下列步骤使用服务器管理器安装“路由和远程访问”端：

安装路由和远程访问服务的步骤

- ▶ 安装 Windows Server 2008。
- ▶ 依次单击“开始”、“管理工具”、“服务器管理器”。
- ▶ 在“角色摘要”下单击“添加角色”。
- ▶ 单击“下一步”。选择“网络访问服务”角色，然后单击“下一步”。
- ▶ 单击“下一步”。选择“路由和远程访问服务”角色服务，然后单击“下一步”。注意：此操作将选择全部三项路由和远程访问服务。
- ▶ 单击“安装”。“安装结果”对话框出现后，单击“关闭”按钮。

配置并启用路由和远程访问服务的步骤

使用下列步骤配置并启用“路由和远程访问”服务：

- ▶ 依次单击“开始”、“管理工具”、“路由和远程访问”。
- ▶ 默认情况下，本地计算机作为服务器列出。用鼠标右键单击该服务器，然后单击“配置并启用路由和远程访问”。
- ▶ 单击“下一步”。单击“自定义配置”，然后单击“下一步”。
- ▶ 选择除 NAT 以外的所有服务，如图 9.10 所示。单击“下一步”，然后单击“完成”按钮。

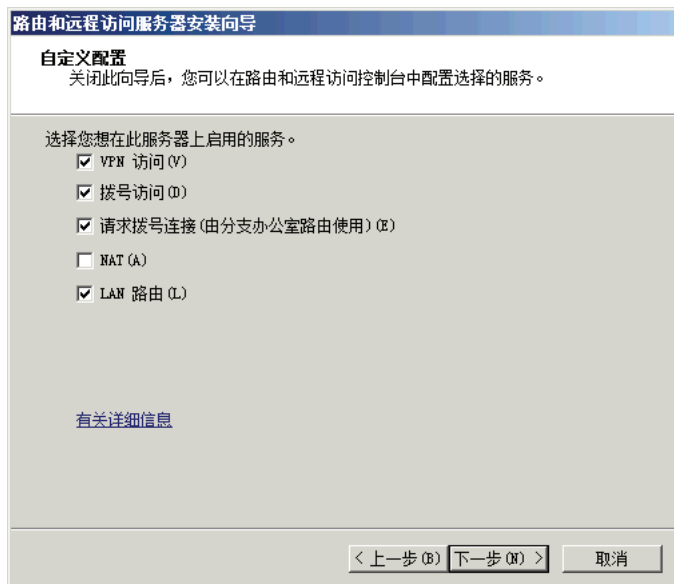


图 9.10 自定义配置窗口

注意：完成安装之后，安装的“路由和远程访问”服务处于禁用状态。若要启用并配置远程访问服务器，必须以 Administrator 组成员的身份登录。

启用路由和远程访问服务

安装了“路由和远程访问”服务之后，需要启用该服务，才能为服务器配置路由和远程访问。

- ▶ 如果此服务器是 Active Directory® 域的成员，而不是域管理员，则要求域管理员将此服务器的计算机账户添加到此服务器所属的域中的 RAS and IAS Servers 安全组。域管理员可以使用“Active Directory 用户和计算机”或使用“netsh ras add registered server”命令将该计算机账户添加到“RAS and IAS Servers”安全组。若此服务器使用本地身份验证或针对 RADIUS 服务器进行身份验证，则跳过此步骤。

- ▶ 打开“路由和远程访问”。
- ▶ 默认情况下，本地计算机作为服务器列出。
- ▶ 若要添加其他服务器，在控制台树中，用鼠标右键单击“服务器状态”，然后单击“添加服务器”。
- ▶ 在“添加服务器”对话框中，单击适用的选项，然后单击“确定”。
- ▶ 在控制台树中，用鼠标右键单击要启用的服务器，然后单击“配置并启用路由和远程访问”。
- ▶ 按照“路由和远程访问服务器安装向导”中的说明操作，然后单击“完成”按钮，如图 9.11 所示。

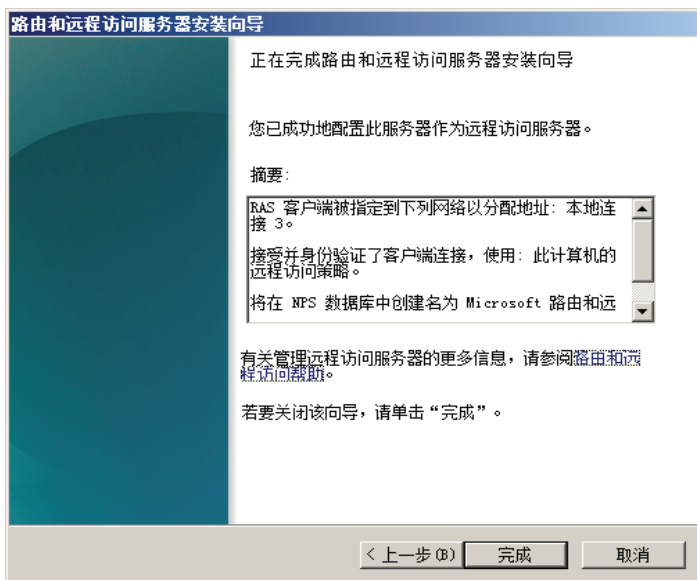


图 9.11 启用路由和远程访问服务窗口

练习

1. 简述路由和远程访问服务的工作模式。
2. 拨号网络有哪些工作方式？
3. 简述远程拨号访问连接所需的组件。
4. 简述安装和启用路由和远程访问的主要步骤。

补充练习

浏览远程访问服务技术论坛网站，查看关于远程访问技术的最新发展信息。

第二节 配置VPN远程访问服务

若要将服务器配置为虚拟专用网（VPN）远程访问服务器，需要使用“路由和远程访问服务器安装向导”，选择“远程访问（拨号或VPN）”。配置虚拟专用网（VPN）远程访问服务器涉及下列任务：

- ▶ 将服务器配置为 VPN 远程访问服务器；
- ▶ 配置 VPN 服务器上的 TCP/IP；
- ▶ 配置 VPN 服务器上的名称解析。

完成基本远程访问 VPN 服务器的配置后，可根据使用远程访问 VPN 服务器所需的方式执行其他配置任务。

本节介绍使用服务器管理器、“添加角色向导”和“路由和远程访问服务器安装向导”配置远程访问虚拟专用网（VPN）服务器的基本步骤，以实现 Windows VPN 网络的应用。

学习目标

- ▶ 掌握配置 VPN 远程访问服务器的方法，以支持 VPN 连接；
- ▶ 掌握配置 VPN 客户机的方法。

关键知识点

- ▶ VPN 服务器上的 TCP/IP、名称解析是 VPN 远程访问的重要组成部分。

配置的准备工作的

Windows Server 2008 对 VPN 的配置提供了向导程序，所以配置 VPN 服务非常简单，可以按照以下步骤来完成。在添加远程访问 VPN 服务器角色之前，需要做好以下准备工作：

- ▶ 确定连接到 Internet 的网络接口以及连接到专用网络的网络接口。如果指定的接口不正确，则远程访问 VPN 服务器将无法正常运行。
- ▶ 确定远程客户端是从专用网络上的动态主机配置协议（DHCP）服务器接收 IP 地址，还是从要配置的远程访问 VPN 服务器接收 IP 地址。如果专用网络上有 DHCP 服务器，则远程访问 VPN 服务器可以一次从 DHCP 服务器租用 10 个地址，并将这些地址指派给远程客户端。如果专用网络上没有 DHCP 服务器，则远程访问 VPN 服务器可自动生成 IP 地址并将这些地址指派给远程客户端。如果希望远程访问 VPN 服务器指派指定范围内的 IP 地址，则必须确定该范围。
- ▶ 确定希望来自 VPN 客户端的连接请求是由远程身份验证拨入用户服务（RADIUS）服务器进行身份验证，还是由所配置的远程访问 VPN 服务器进行验证。如果计划在专

用网络上安装多台远程访问 VPN 服务器、无线访问点或其他 RADIUS 客户端,则需要添加 RADIUS 服务器。

- ▶ 确定 VPN 客户端是否可以向专用网络上的 DHCP 服务器发送 DHCP 消息。如果 DHCP 服务器与远程访问 VPN 服务器在同一个子网上,则在建立 VPN 连接之后,来自 VPN 客户端的 DHCP 消息将可到达 DHCP 服务器。如果 DHCP 服务器与远程访问 VPN 服务器在不同的子网上,则确保子网之间的路由器可以在客户端和服务器之间中继 DHCP 消息。如果路由器运行的是 Windows Server 2008 操作系统,则可以在路由器上配置 DHCP 中继代理服务,以便在子网之间转发 DHCP 消息。
- ▶ 验证所有用户都有为拨号访问而配置的用户账户。用户只有拥有了远程访问 VPN 服务器上或 Active Directory® 域服务中的用户账户,才能连接到网络。独立服务器或域控制器上的每个用户账户都包含用于确定该用户能否连接的属性。在独立服务器上,可以通过用鼠标右键单击“本地用户和组”中的用户账户并单击“属性”来设置这些属性。在域控制器上,可以通过用鼠标右键单击“Active Directory 用户和计算机”控制台中的用户账户并单击“属性”来设置这些属性。

VPN服务器的配置

要配置远程访问 VPN 服务器,可通过执行下列任意一项操作来启动“添加角色向导”:

(1) 在“初始配置任务”窗口的“自定义此服务器”下,单击“添加角色”。默认情况下,“初始配置任务”在登录时自动启动。

(2) 在 VPN 服务器上,从“管理工具”中打开“服务器管理器”,选中“角色”,单击“添加角色”,打开“添加角色向导”。在“添加角色向导”中执行下列操作:

- ▶ 单击“下一步”或单击“选择角色服务”。
- ▶ 在出现的“选择角色服务”对话框的角色列表中选择“网络策略与服务”,然后单击“下一步”。
- ▶ 在出现的“选择角色服务”对话框中的角色服务栏中勾选“路由和远程访问服务”,如图 9.12 所示。也可以单独选择服务器角色。

继续执行“添加角色向导”中的步骤,以完成安装。最后,单击“关闭”按钮,返回“服务器管理器”对话框,可以看到角色摘要下显示“网络策略和访问服务”已安装。展开“网络策略和访问服务”,如图 9.13 所示。

用鼠标右键单击“网络策略和访问”在出现的菜单条中选择“配置并启用路由和远程访问”,如图 9.14 所示,出现“配置并启用路由和远程访问”对话框。

在出现的“路由和远程访问服务器安装向导”窗口中单击“下一步”按钮,进入服务选择窗口,如图 9.15 所示。这里是要使用 VPN 服务器,勾选第三项“虚拟专用网络(VPN)和 NAT(V)”,然后连续单击“下一步”按钮,则弹出图 9.16 所示的窗口。选择其中一个连接,这里选择“本地连接”。

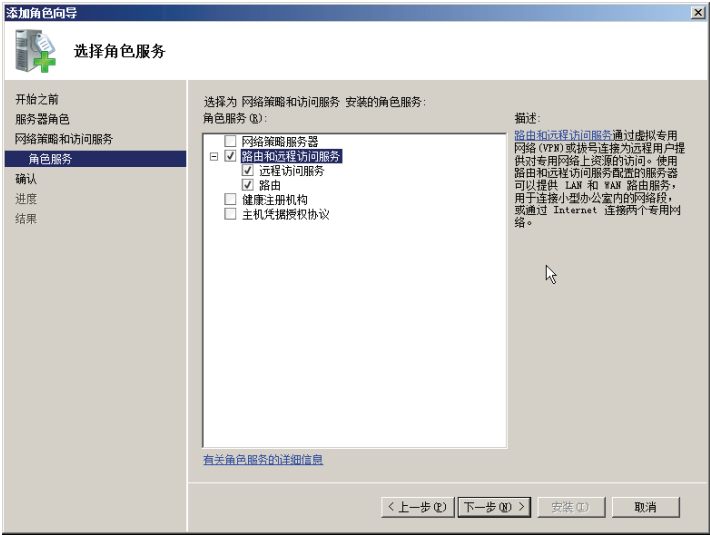


图 9.12 “选择角色服务”对话框

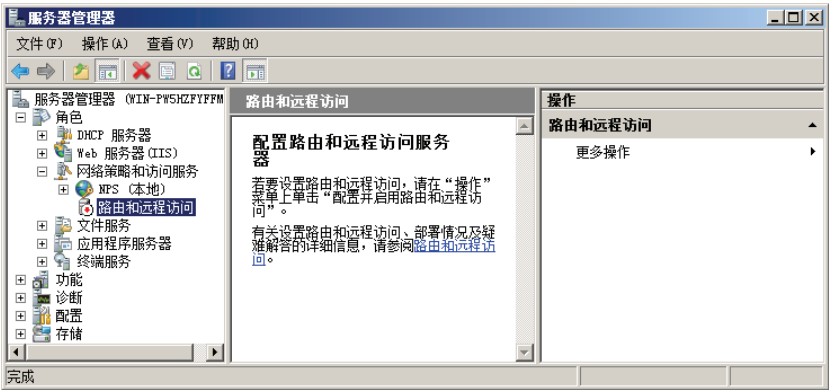


图 9.13 展开“网络策略和访问服务”



图 9.14 配置并启用路由和远程访问

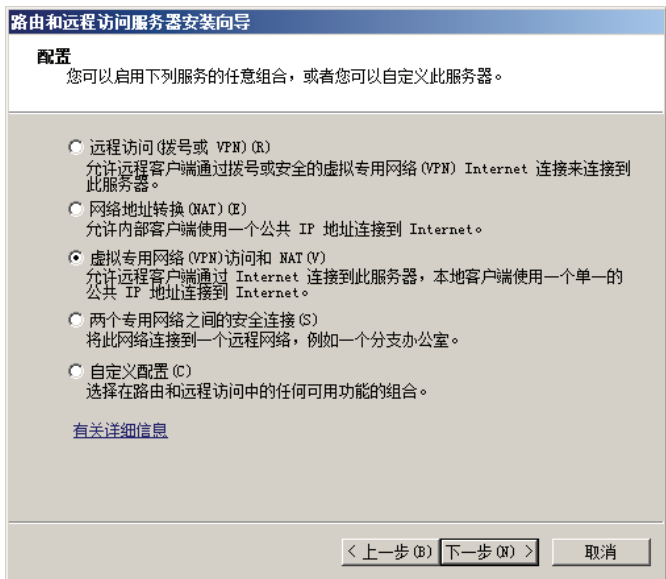


图 9.15 服务选择窗口

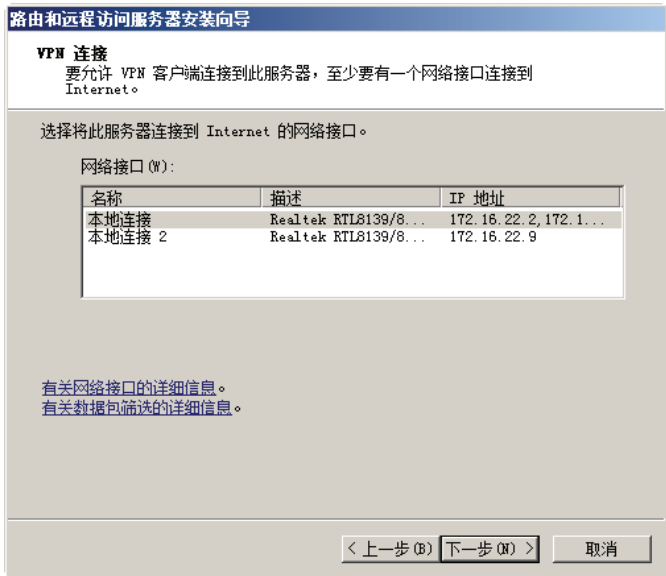


图 9.16 选择本地连接

单击“下一步”，出现如图 9.17 所示的对话框。如果在公司局域网中有 DHCP 服务器，那么可以让 DHCP 服务器为远程访问客户机分配局域网中的 IP 地址，此时选择“自动”；如果公司局域网中没有 DHCP 服务器，那么可以在远程访问服务器上建立一个静态 IP 地址范围，这些 IP 地址是用来分配给远程访问客户机的，此时选择“来自一个指定的地址范围”。

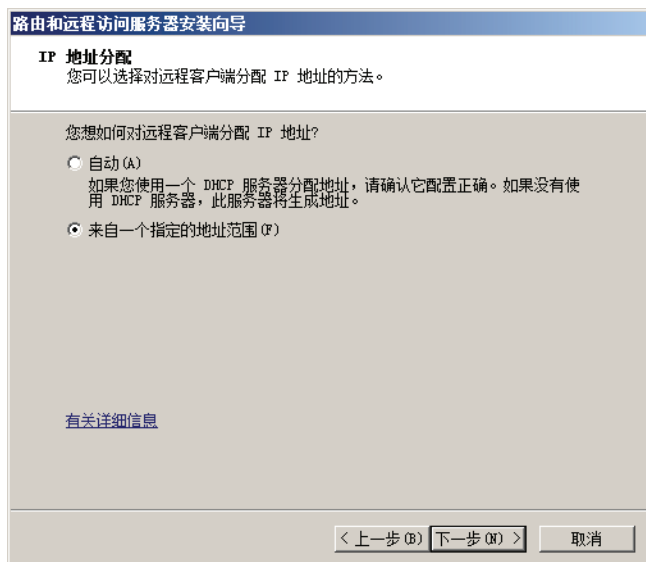


图 9.17 “IP 地址分配”对话框

若选择“来自一个指定的地址范围”，则单击“下一步”按钮后，将要求指定相关的 IP 地址。此处指定的 IP 地址范围，是作为 VPN 客户端通过虚拟专网连接到 VPN 服务器时所使用的 IP 地址池。单击“新建”按钮，出现“地址范围分配”对话框。在“起始 IP 地址”文本框中输入“172.16.22.11”，在“结束 IP 地址”文本框中输入“172.16.22.22”，如图 9.18 所示。

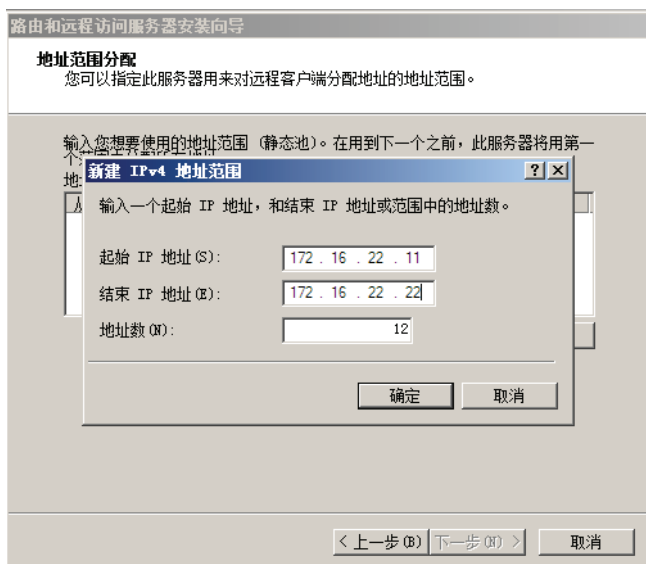


图 9.18 “地址范围”对话框

单击“确定”按钮，可以看到已经指定了一段 IP 地址，如图 9.19 所示。

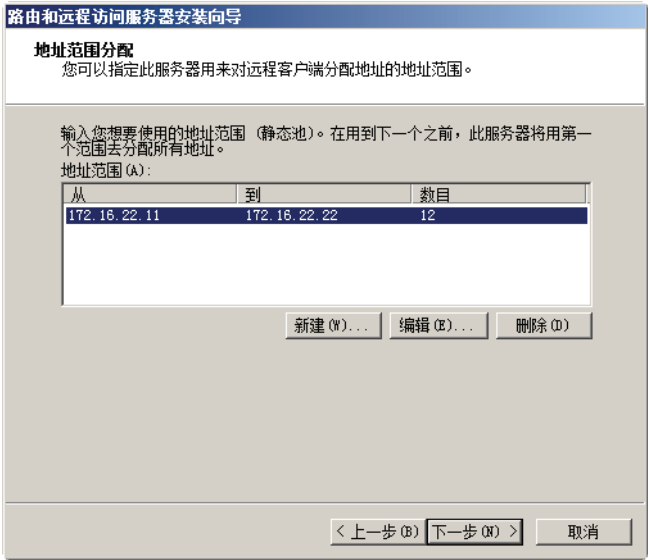


图 9.19 指定的一段 IP 地址块

单击“下一步”按钮，出现“管理多个远程访问服务器”对话框。在该对话框中可以指定身份验证的方法是路由和远程访问服务器还是 RADIUS 服务器，在此选择“否，使用路由和远程访问来对连接请求进行身份验证”复选框，如图 9.20 所示。

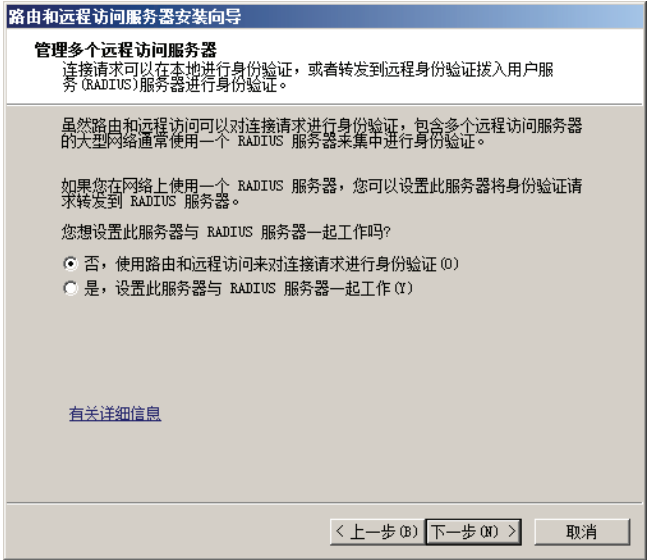


图 9.20 “管理多个远程访问服务器”对话框

单击“下一步”按钮，完成 VPN 配置，如图 9.21 所示。单击“完成”按钮，出现图 9.22 所示的对话框，表示需要配置 DHCP 中继代理程序，单击“确定”按钮。

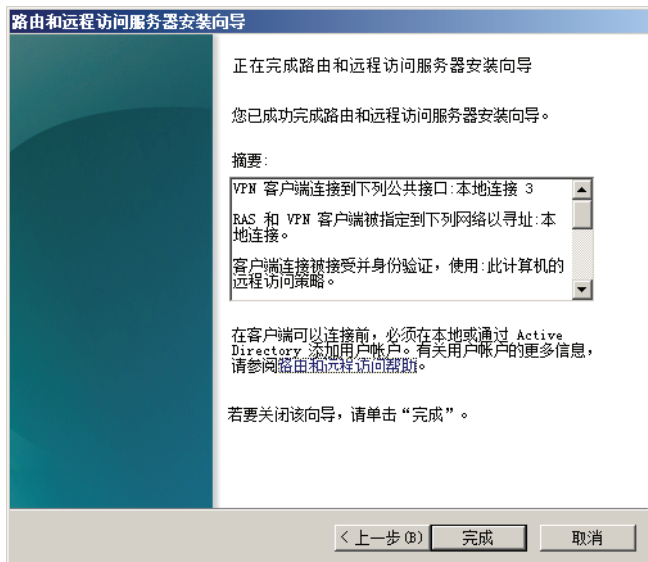


图 9.21 完成 VPN 配置后的窗口



图 9.22 需要配置 DHCP 中继代理程序的对话框

这时看到“服务器管理器”角色中“路由和远程访问”已启动（显示为向上的绿色箭头），如图 9.23 所示。至此，完成 Windows Server VPN 服务器的配置。



图 9.23 “路由和远程访问”已启动窗口

为用户账户分配远程访问的权限

当用户进行基于 VPN 的远程访问时，必须使用一个用户账户的身份才能访问。为此，这个用户账户必须是 VPN 服务器上的一个用户账户，而且这个用户账户必须具有远程访问的权限。然而，默认情况下，在 VPN 服务器上所有的用户账户都没有与 VPN 服务器建立连接的权限。因此，为了使用户能够利用一个用户账户进行远程访问，需要由 VPN 服务器的管理员为这个用户账户分配远程访问的权限。

(1) 以域管理员账户登录到域控制器上，在 VPN 服务器上打开“管理工具”，选择“Active Directory 用户和计算机”控制窗口，如图 9.24 所示。

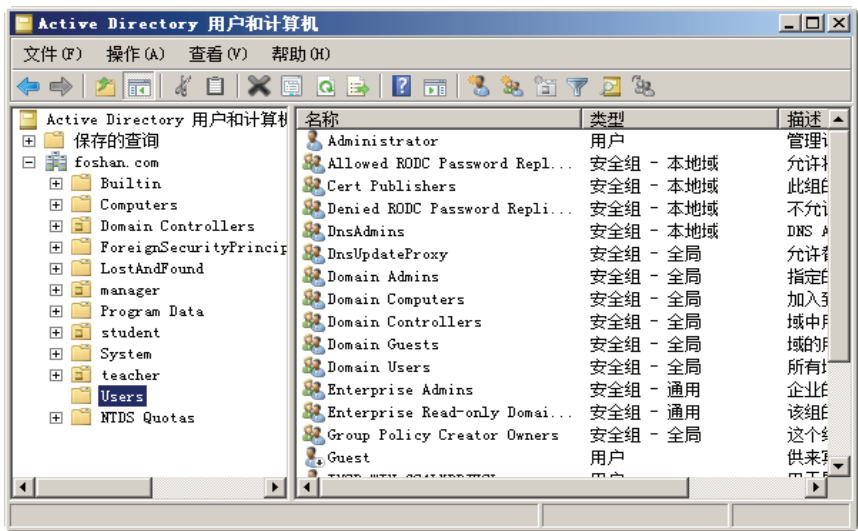


图 9.24 “Active Directory 用户和计算机”控制窗口

(2) 在“Active Directory 用户和计算机”窗口中，用鼠标右键单击“User”，选择“新建”→“用户”。

(3) 在“新建对象—用户”窗口输入相关信息，新建用户，例如设置用户 Administrator@foshan.com 使用 VPN 连接到 VPN 服务器。

(4) 依次展开“foshan.com”和“user”结点，用鼠标右键单击“Administrator”，在弹出的菜单中选择“属性”，则打开图 9.25 所示的“Administrator 属性”对话框。在“拨入”选项卡中选“允许访问”，然后单击“确定”按钮即可。



图 9.25 “Administrator 属性”对话框

配置VPN客户机

VPN 客户机的配置并不复杂，只需建立一个到服务器的虚拟专用连接，然后通过该虚拟专用的连接拨号建立连接即可。在创建 VPN 连接之前，必须保证这台 VPN 客户机已经连接到 Internet 上。创建 VPN 客户机连接的操作步骤如下：

- (1) 用鼠标右键单击“网上邻居”，选择“属性”，则会打开图 9.26 所示的窗口。

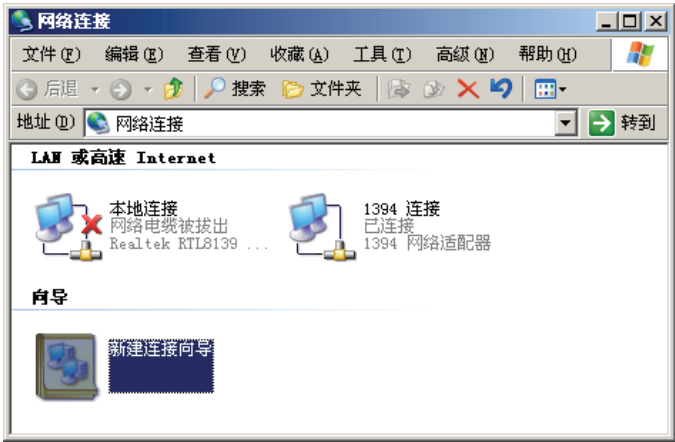


图 9.26 网络连接窗口

- (2) 双击“新建连接向导”图标，打开图 9.27 所示的窗口。



图 9.27 新建连接向导

(3) 单击“下一步”按钮，打开图 9.28 所示的窗口。

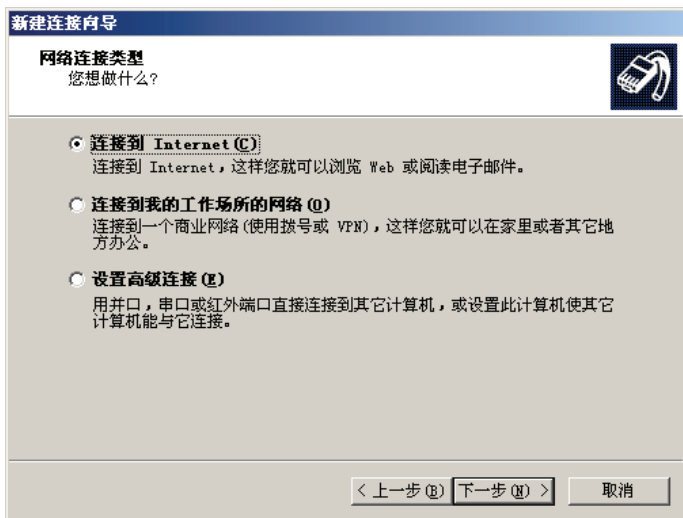


图 9.28 网络连接类型选择

(4) 选择“连接到我的工作场所的网络”，单击“下一步”按钮，则打开图 9.29 所示的窗口。

(5) 选择“虚拟专用网络连接”，单击“下一步”按钮，打开图 9.30 所示的窗口。

(6) 在此对话框中输入一个名字，例如输入“foshan”，然后单击“下一步”按钮，则打开图 9.31 所示的窗口。

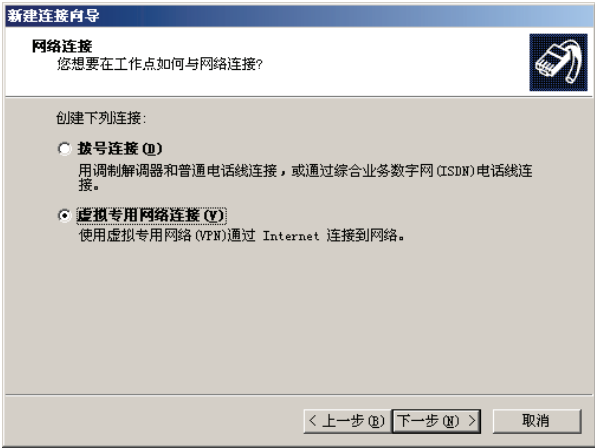


图 9.29 网络连接选择

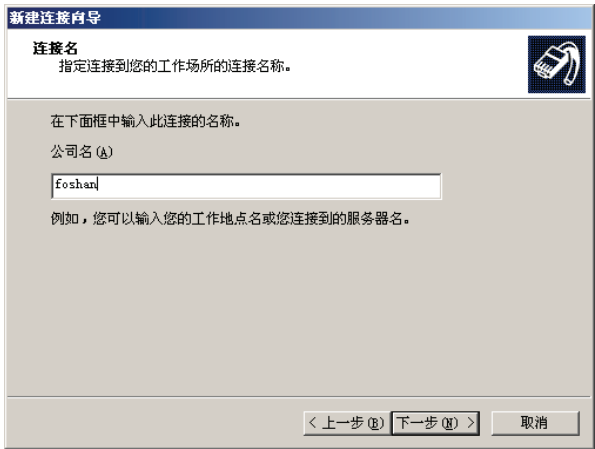


图 9.30 输入连接名

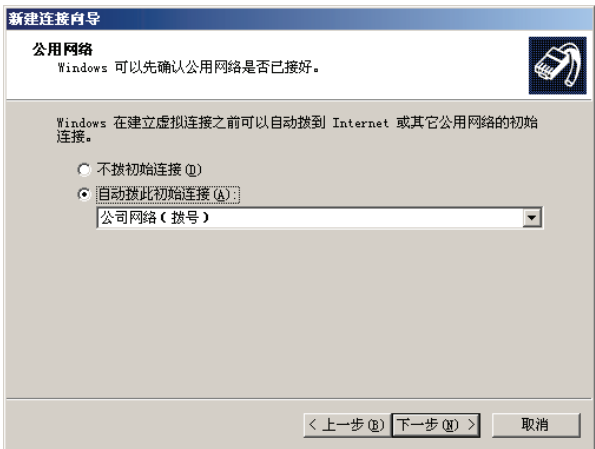


图 9.31 初始连接选择

(7) 若选择“不拨初始连接”，则在单击“下一步”按钮后，将打开图 9.32 所示的窗口。

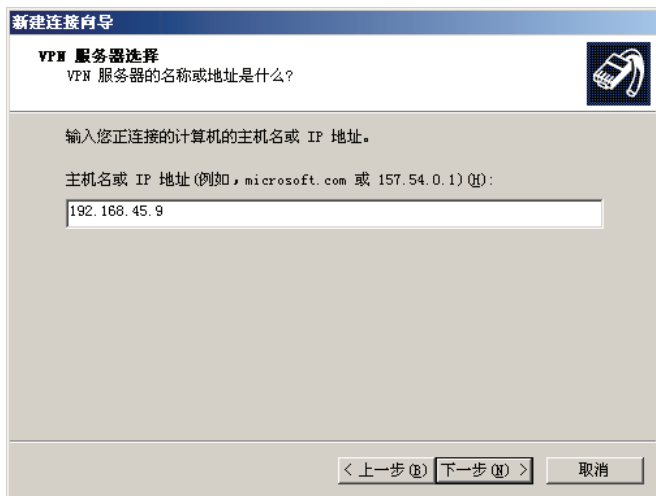


图 9.32 选择 VPN 服务器名

(8) 输入希望访问的 VPN 服务器的主机名或 IP 地址。例如，在出现的“VPN 服务器选择”对话框中的“主机名或 IP 地址”文本框中输入“192.168.45.9”。然后单击“下一步”按钮，则打开图 9.33 所示的窗口。

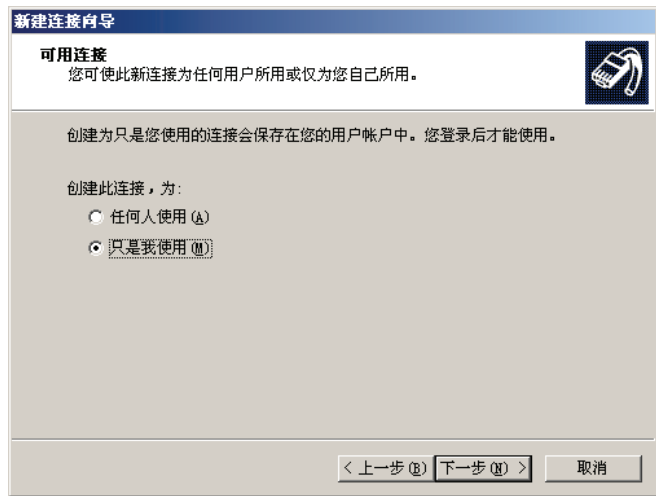


图 9.33 可用连接

(9) 选择“任何人使用”或“只是我使用”后，单击“下一步”按钮，将打开图 9.34 所示的窗口。



图 9.34 VPN 连接完成

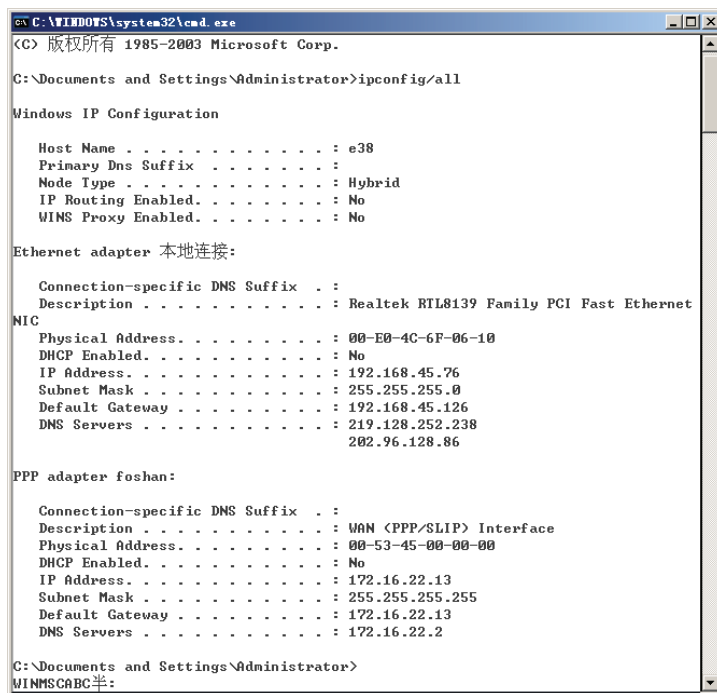
(10) 单击“完成”按钮，将打开图 9.35 所示的窗口。

当需要远程访问时，可在图 9.35 中输入用户名和密码，单击“连接”按钮并按提示操作即可。



图 9.35 VPN 连接窗口

在客户端的命令行提示符下输入“ipconfig/all”，可以看到该客户端获得的虚拟 IP 地址“172.16.22.13”，如图 9.36 所示。



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
(C) 版权所有 1985-2003 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\Administrator>ipconfig/all

Windows IP Configuration

    Host Name . . . . . : e38
    Primary Dns Suffix . . . . . :
    Node Type . . . . . : Hybrid
    IP Routing Enabled. . . . . : No
    WINS Proxy Enabled. . . . . : No

Ethernet adapter 本地连接:

    Connection-specific DNS Suffix  . :
    Description . . . . . : Realtek RTL8139 Family PCI Fast Ethernet
    NIC
    Physical Address. . . . . : 00-E0-4C-6F-06-10
    DHCP Enabled. . . . . : No
    IP Address. . . . . : 192.168.45.76
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.0
    Default Gateway . . . . . : 192.168.45.126
    DNS Servers . . . . . : 219.128.252.238
                           202.96.128.86

PPP adapter foshan:

    Connection-specific DNS Suffix  . :
    Description . . . . . : VNN <PPP/SLIP> Interface
    Physical Address. . . . . : 00-53-45-00-00-00
    DHCP Enabled. . . . . : No
    IP Address. . . . . : 172.16.22.13
    Subnet Mask . . . . . : 255.255.255.255
    Default Gateway . . . . . : 172.16.22.13
    DNS Servers . . . . . : 172.16.22.2

C:\Documents and Settings\Administrator>
WINM5CABC半:
```

图 9.36 DOS 下查看客户端建立 VPN 的情况

练习

1. 什么是 VPN? VPN 中涉及的协议有哪些? 分别在什么层次?
2. VPN 有几种应用场合, 各有什么特点?
3. 某单位的办公局域网使用私有地址, 通过防火墙接入 Internet, 现在为了方便公司的员工在外地出差时能访问公司内部的数据服务器提取和上报资料, 最好的解决方案是什么? 请给出建议方案。
4. 什么是动态路由协议?
5. 什么是管理距离? 它有什么用处?
6. 主机的默认路由起什么作用? 是否可以不使用?
7. 在 Windows Server 2008 服务器上配置 VPN 服务器。
8. 在 Windows 客户机上建立 VPN 连接。
9. 建立连接并进行 VPN 测试。

补充练习

某公司随着规模的扩大, 由原来的一个办公网扩展成多个部门, 现在你作为公司的网络管

理员, 请设计一个方案, 保证各个部门都在一个小局域网, 并且公司的各个部门之间也能进行通信。

第三节 配置拨号远程访问服务

当远程用户希望通过 PSTN、ISDN 等广域网进行远程连接时, 需要拨号连接到远程访问服务器, 然后实现对局域网中资源的访问。由于 PSTN 就是人们平时打电话所使用的电话网, 所以对于普通用户, 通过 PSTN 进行远程访问十分方便。

可以使用运行“路由和远程访问”的服务器提供对公司 Intranet 的拨号访问。如果希望远程访问服务器支持拨号连接, 则具体的配置需要完成以下步骤:

- ▶ 配置与 Intranet 的连接;
- ▶ 配置远程访问服务器支持拨号连接;
- ▶ 为用户账户分配远程访问权限;
- ▶ 配置用于远程访问的端口等;
- ▶ 配置远程访问客户机。

本节主要讨论远程客户如何利用 PSTN 拨号连接到 Windows Server 2008 远程访问服务器。远程访问拨号客户机的配置, 参见配置 VPN 客户机的步骤。

学习目标

- ▶ 掌握远程访问服务的器配置方法, 以支持拨号连接拨号网络;
- ▶ 掌握拨号客户机的配置方法。

关键知识点

- ▶ 随着人们的移动性越来越大, 远程访问技术已成为连接网络的关键构件。

配置远程访问服务器支持拨号连接

如果客户机希望通过 PSTN 与远程访问服务器建立拨号连接, 那么客户机与远程访问服务器都必须安装调制解调器。由于 PSTN 采用模拟信号, 而计算机采用数字信号, 因此它们之间要进行通信, 就必须通过调制解调器执行数字信号与模拟信号之间的转换操作。操作步骤如下:

(1) 单击“开始”→“管理工具”→“服务器管理器”, 展开“网络策略和访问服务”, 选择“路由和远程访问”, 将打开图 9.37 所示的窗口。

(2) 用鼠标右键单击计算机名称(本例为: ASUS), 选择“配置并启用路由和远程访问”, 将打开“路由和远程访问服务器安装向导”窗口。单击“下一步”按钮, 将打开图 9.38 所示的窗口。

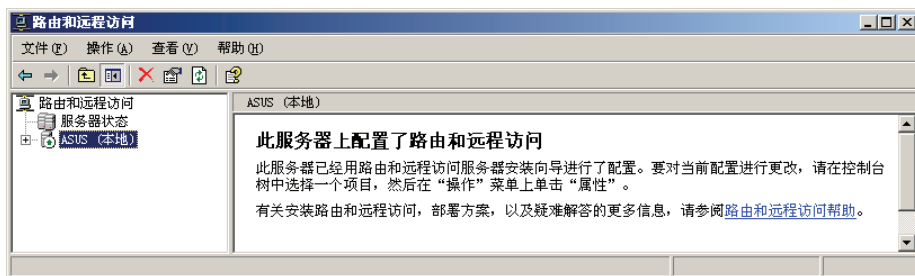


图 9.37 配置并启用路由和远程访问

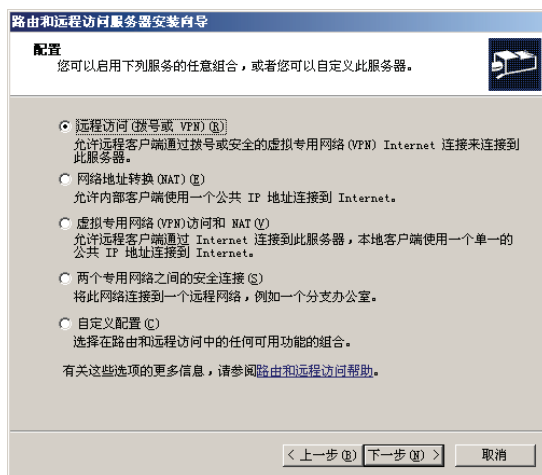


图 9.38 配置选择

(3) 选择“远程访问（拨号或 VPN）”，单击“下一步”按钮，将打开图 9.39 所示的窗口。

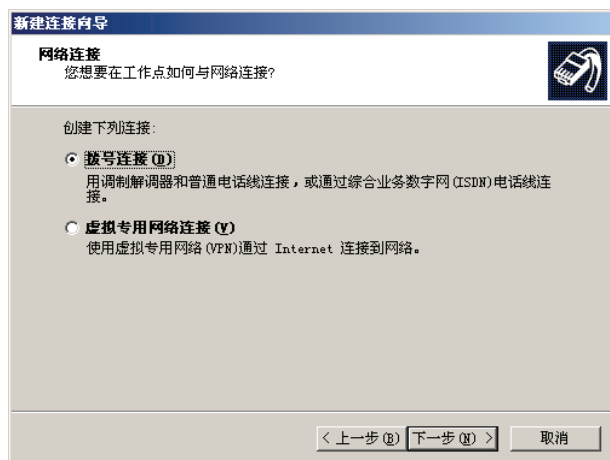


图 9.39 选择网络连接方式

(4) 选择“拨号连接”，单击“下一步”按钮。如果计算机中有多个网卡，将打开图 9.40 所示的窗口，其中每个网卡连接到一个网络。选择一个用于远程连接的网卡，单击“下一步”按钮，将打开图 9.41 所示的窗口。

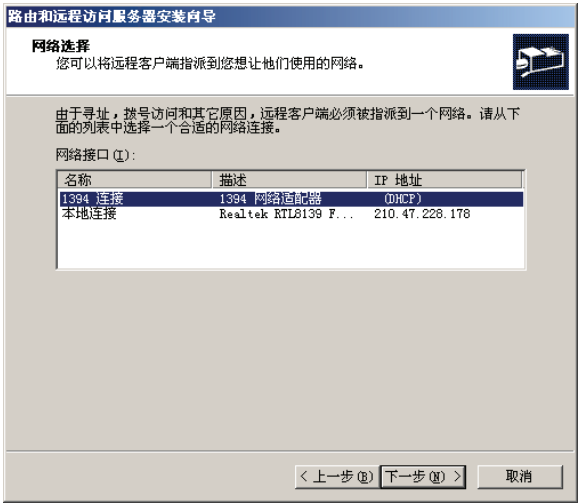


图 9.40 选择网卡

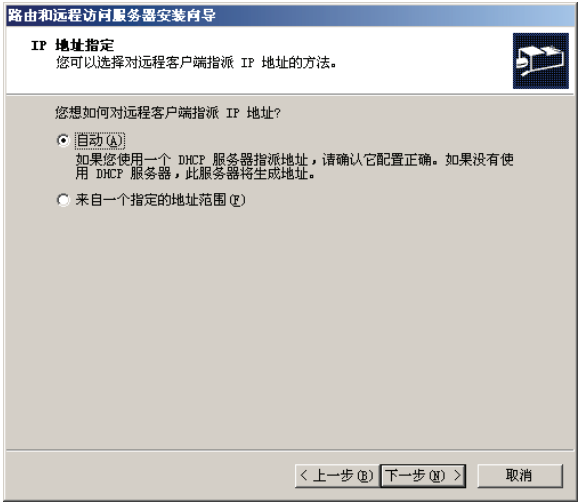


图 9.41 选择获取 IP 地址的方法

(5) 如果在公司局域网中有 DHCP 服务器，那么可以让 DHCP 服务器为远程访问客户机分配局域网中的 IP 地址，这里选择“自动”，单击“下一步”后将直接打开图 9.42 所示的窗口。如果公司局域网中没有 DHCP 服务器，那么可以在远程访问服务器上建立一个静态 IP 地址范围，这些 IP 地址是用来分配给远程访问客户机的，此时选择“来自一个指定的地址范围”，则单击“下一步”按钮后将打开图 9.43 所示的窗口。

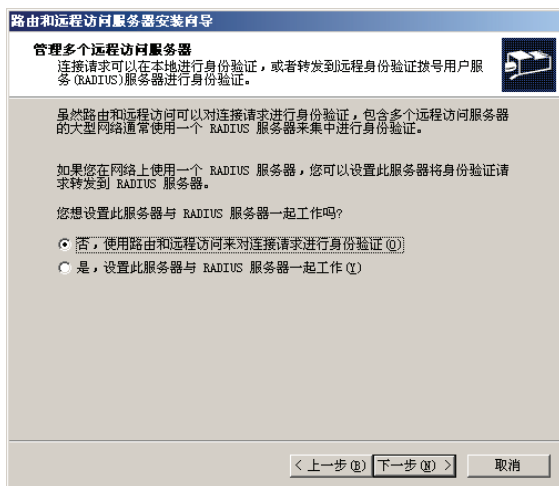


图 9.42 RADIUS 服务选择

(6) 单击“新建”按钮，在新出现的窗口中输入地址范围，然后单击“确定”按钮，再单击“下一步”按钮，将打开图 9.42 所示的窗口。

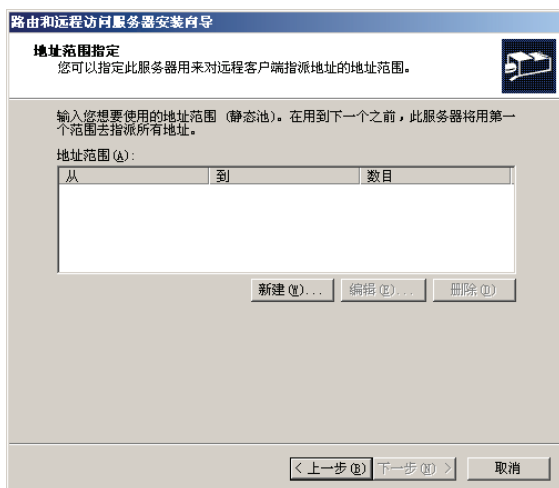


图 9.43 指定 IP 地址范围

(7) 选择“否，使用路由和远程访问来对连接请求进行身份验证”，单击“下一步”按钮，将打开图 9.44 所示的窗口。

(8) 单击“完成”按钮，将打开图 9.45 所示的窗口。

(9) 单击“确定”按钮，完成设置。设置完成后的窗口如图 9.46 所示。

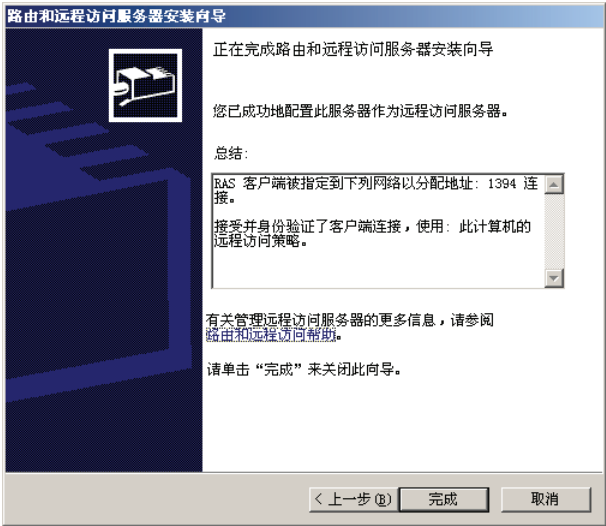


图 9.44 远程访问配置完成窗口



图 9.45 DHCP 确认

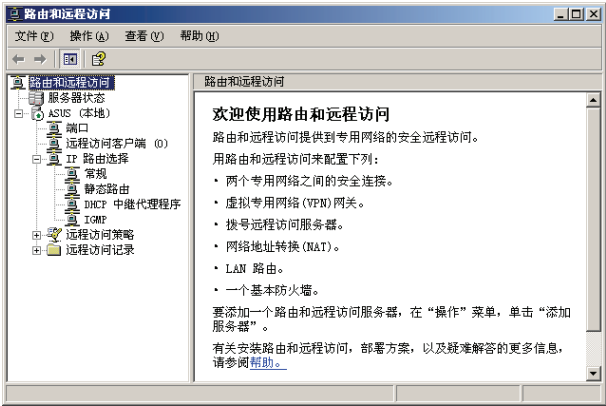


图 9.46 “路由和远程访问”窗口

为用户账户分配远程访问权限

当用户进行远程访问时，也必须使用一个账户的身份才能访问，那么对这个账户的要求是：

- ▶ 这个账户必须是远程访问服务器上的一个用户账户；
- ▶ 其次，这个用户账户必须具有远程访问的权限。

然而，默认情况下，在远程访问服务器上的所有用户账户都没有拨号连接远程访问服务器的权限。因此，为了使用户能够使用一个用户账户进行远程访问，需要由远程访问服务器的管理员为这个用户账户分配远程访问权限。具体步骤参见 VPN 远程访问服务的配置。

配置用于远程访问的端口

运行“路由和远程访问”的服务器将已安装的网络设备作为一系列设备和端口对待。其中，设备是可以建立物理点对点连接或逻辑点对点连接的硬件或软件，可以是物理的（如调制解调器），也可以是虚拟的（如 VPN 协议）；端口是可以支持一个点对点连接的通信通道。对于单端口设备（如调制解调器），无法区分设备和端口。对于多端口设备，端口是设备中可以建立独立点对点连接的细分。例如，主速率接口（PRI）ISDN 适配器支持两个独立的通道（称为 B 通道），则 ISDN 适配器就是设备，每个 B 通道都是一个端口，因为可以通过每个 B 通道建立独立的点对点连接。可以在“路由和远程访问”中单击“端口”来查看拨号端口。

配置用于远程访问端口的步骤如下：

- ▶ 打开“路由和远程访问”。
- ▶ 在控制台树中，用鼠标右键单击“端口”。
- ▶ 位置：远程和路由访问/服务器名称/端口；
- ▶ 单击“属性”；
- ▶ 在“端口属性”对话框中，单击某个设备，然后单击“配置”；
- ▶ 在“配置设备”对话框中，执行以下一项或多项操作（如图 9.47 所示）：若要启用远程访问，则选中“远程访问连接（仅入站）”复选框；若要启用请求拨号路由，则选中“请求拨号路由选择连接（入站和出站）”复选框。

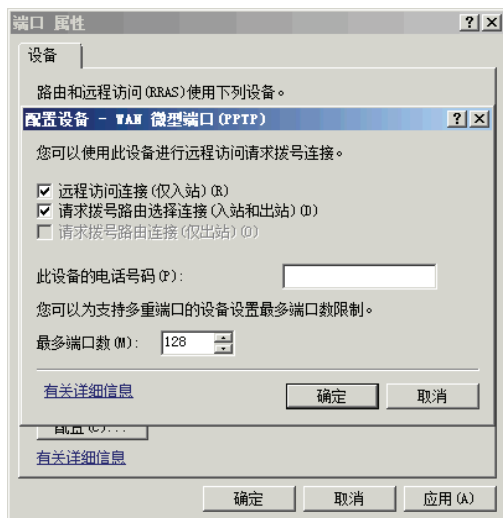


图 9.47 端口属性配置窗口

创建静态IP地址池

在配置远程访问服务器时，可以使用静态 IP 地址池给基于 TCP/IP 的远程访问连接和请求拨号连接分配静态 IP 地址。

- ▶ 打开“路由和远程访问”。
- ▶ 用鼠标右键单击要为其创建静态 IP 地址池的服务器的名称，然后单击“属性”。
- ▶ 在 IPv4 选项卡中，单击“静态地址池”，然后单击“添加”。
- ▶ 在“起始 IP 地址”中，键入起始 IP 地址，然后在“结束 IP 地址”中键入该范围的结束 IP 地址，或在“地址数”中键入该范围中的 IP 地址数。
- ▶ 单击“确定”，然后对任何需要添加的范围重复上述两个步骤，如图 9.48 所示。

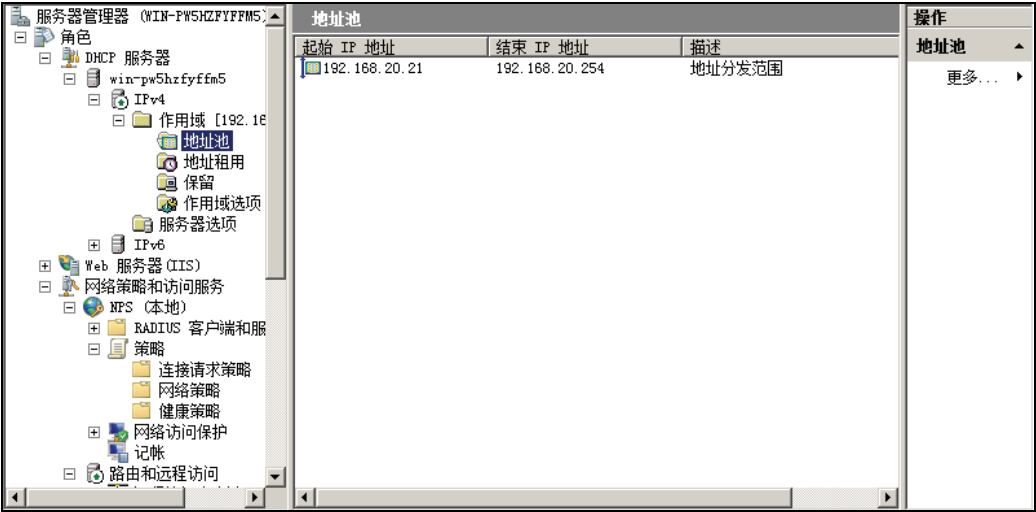


图 9.48 静态 IP 地址池窗口

注意：如果静态 IP 地址池由单独子网的 IP 地址范围组成，则需要在远程访问服务器计算机上启用 IP 路由协议，或向 Intranet 的路由器中添加由每个范围的 {IP 地址, 掩码} 组成的静态 IP 路由。如果不添加路由，远程访问客户端将无法与 Intranet 上的资源进行通信。

路由和远程访问服务器与DHCP一起使用

“DHCP 服务器”服务可以与“路由和远程访问”服务一起部署，以便在连接期间为远程访问客户端提供动态分配的 IP 地址。在同一台服务器计算机上同时使用这些服务时，动态配置期间提供信息的方式与基于 LAN 的客户端的典型 DHCP 配置不同。

在局域网（LAN）环境中，DHCP 客户端协商并接收下列配置信息（全部基于在 DHCP

服务器的 DHCP 控制台中配置的设置)：

- ▶ DHCP 服务器上某个活动范围的可用地址池中所提供的租用 IP 地址。DHCP 服务器直接管理该地址，并将其分配给基于 LAN 的 DHCP 客户端。
- ▶ 通过地址租约中指派的 DHCP 选项所提供的其他参数和其他配置信息。选项的值和列表对应于 DHCP 服务器上配置并指派的选项类型。

路由和远程访问服务器在为拨号客户端提供动态配置时，首先执行下列步骤：

- ▶ 当通过“使用 DHCP 分配远程 TCP/IP 地址”选项启动时，运行“路由和远程访问”的服务器将指示 DHCP 客户端从 DHCP 服务器获取 10 个 IP 地址。
- ▶ 远程访问服务器将从 DHCP 服务器获取的这 10 个 IP 地址的第一个地址用于远程访问服务器接口。
- ▶ 剩余的 9 个地址在基于 TCP/IP 的客户端通过拨入与远程访问服务器建立会话时，分配给这些客户端。

重复使用远程访问客户端断开时所释放的 IP 地址。使用了全部 10 个 IP 地址后，远程访问服务器将从 DHCP 服务器再获取 10 个 IP 地址。“路由和远程访问”服务停止时，将释放通过 DHCP 所获取的所有 IP 地址。

当对拨号客户端的 DHCP 地址租约使用这种主动缓存的方式时，路由和远程访问服务器将记录从 DHCP 服务器获取的每个租约响应的下列信息：

- ▶ DHCP 服务器的 IP 地址；
- ▶ 客户端租用的 IP 地址（以后分配给路由和远程访问客户端）；
- ▶ 获取租约的时间；
- ▶ 租约过期的时间；
- ▶ 租约期限。

DHCP 服务器返回的所有其他 DHCP 选项信息（如服务器、作用域或保留选项）将被丢弃。客户端在拨入服务器并请求 IP 地址（即选择“服务器分配的 IP 地址”）时，将使用缓存的 DHCP 租约为拨号客户端提供动态 IP 地址配置。

在为拨号客户端提供 IP 地址时，该客户端不会意识到已在 DHCP 服务器与路由和远程访问服务器之间通过中间过程获取了 IP 地址；路由和远程访问服务器代表客户端维护租约。因此，客户端从 DHCP 服务器接收的唯一信息是 IP 地址租约。

在拨号环境中，DHCP 客户端使用下列修订的行为来协商并接收动态配置：

- ▶ 路由和远程访问服务器从 DHCP 作用域地址缓存中租用 IP 地址，即获取缓存的地址池，并向 DHCP 服务器进行续订。
- ▶ 通过地址租约中指派的 DHCP 选项所提供的其他参数和其他配置信息通常由 DHCP 服务器提供，这些信息将返回到路由和远程访问客户端（基于路由和远程访问服务器上配置的 TCP/IP 属性）。

练习

- 1. PSTN 可提供哪些远程访问技术？
- 2. 你所在地区哪些技术可用？如果在你的机构中必须支持远程网络用户，最佳选择是什么？
- 3. 一种与 ANI 捆绑在一起的用来识别入呼叫类型的 ISDN 服务，称为（ ）。
a.PRI BRI b. II 数字 c.ANI 数字

补充练习

图 9.49 所示给出了运行“路由和远程访问”的服务器实现拨号连接的网络结构。试完成以下配置工作。

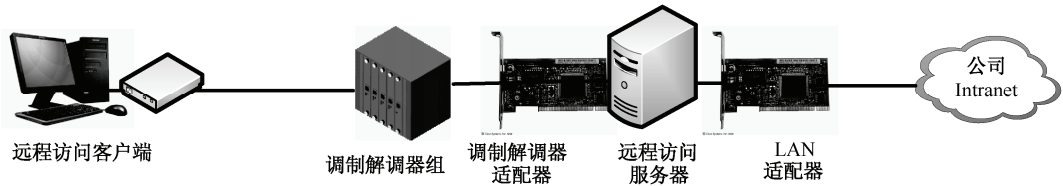


图 9.49 实现拨号连接的网络结构

- 1. 搭建远程访问服务器以支持拨号连接；
- 2. 激活路由和远程访问服务；
- 3. 配置客户机拨号访问连接。

本章小结

Windows Server 2008 集成了功能强大的远程访问服务器和 LAN 路由功能，为企业网络的数据通信提供灵活、廉价的技术解决方案，被当前的企业网络广泛采用。路由和远程访问的配置在组网中是非常重要的，路由和远程访问服务器使用 IP 转发过程来将包转发到某个连接的子网上的邻近主机。因此，掌握 Windows Server 2008 远程访问服务器和路由器的设计、配置和测试具有非常重要的实际意义。

当远程用户进行远程访问时到底使用哪一种远程连接类型，主要取决于所使用的广域网类型。如果希望通过 PSTN、ISDN 等广域网进行远程访问，那么需要建立拨号连接；如果希望通过 Internet 进行远程访问，那么需要建立 VPN 连接。

另外，配置路由和远程访问服务，还有许多重要的配置工作。例如，网络策略和访问服务等。网络策略和访问服务提供以下网络连接解决方案：网络访问保护（NAP），安全无线与有线访问，远程访问解决方案，使用 RADIUS 服务器和代理进行的集中网络策略管理。网络策

略服务器（NPS）允许通过以下三个功能集中配置和管理网络策略：RADIUS 服务器、RADIUS 代理和网络访问保护（NAP）策略服务器。读者可以自行练习。本章主要介绍了 Windows Server 2008 的路由和远程访问的主要配置方法。

小测验

某实现 VPN 远程访问服务连接的网络结构如图 9.50 所示。njit 公司出差的职工需要经常访问单位内部局域网文件服务器上的共享文件夹 magnet，文件服务器的 IP 地址为 192.168.20.10。出差的职工使用 VPN 连接到单位局域网，VPN 服务器连接 Internet 的 IP 地址为 202.119.167.11。出差职工的计算机的操作系统为 Windows 8。要求出差职工能使用 UNC 路径“\\192.168.20.10\magnet”访问局域网中的文件服务器。（备注：VPN 服务器也是 njit.com 的一台域控制器，文件服务器加入了该域。）试完成以下配置工作。

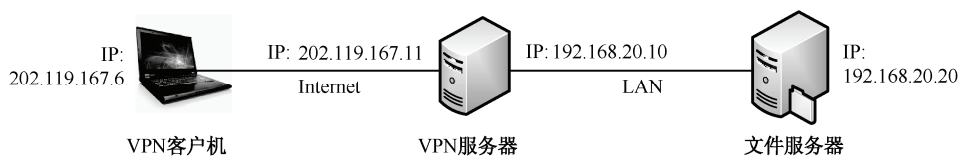


图 9.50 实现 VPN 远程访问服务连接的网络结构

1. 搭建远程访问服务器；
2. 激活路由和远程访问服务；
3. 配置客户机网络连接。

附录 A 课程测验

1. SLIP 通常用于 ()。
 - a. 至 Internet 的串行连接
 - b. 至主干的连接
 - c. 调制解调器到局域网的连接
 - d. 局域网到广域网的连接
2. 下列哪个的线路传输速率最大? ()
 - a. T1
 - b. SONET
 - c. 256 kb/s
 - d. 512 kb/s
3. 哪种技术使用 CIR 来描述最大平均线路传输速率? ()
 - a. X.25
 - b. 帧中继
 - c. ATM
 - d. SONET
4. 无连接网络是什么样的网络? ()
 - a. 在端点之间没有建立起连接
 - b. 网络中任意两点之间没有物理路径
 - c. 使用线路交换网络
 - d. 所有连接到物理介质的结点都接收到传输的信息
5. 将许多家庭和商业机构连接到第一个中心局的铜缆连接被称为 ()。
 - a. 本地环路
 - b. 干线
 - c. 数字环路
 - d. 租用线路
6. 电信网络的哪个部分通常传输模拟信号? () (选两项)
 - a. 干线
 - b. 本地环路
 - c. RS-232 电缆
 - d. V.35 电缆
7. 下列哪种电信线路通常是定长的? ()
 - a. 交换线路
 - b. 拨号线路
 - c. 全双工线路
 - d. 租用线路
8. 下列哪种不能被认为是 DCE? ()
 - a. ISDN 接口设备
 - b. 调制解调器
 - c. 多路复用器
 - d. PC
9. 调制解调器可用来 ()。(选两项)
 - a. 放大模拟信号
 - b. 将数字信号转换为模拟信号
 - c. 转发数字信号
 - d. 将模拟信号转换为数字信号
10. Codec 是一种什么样的设备? ()
 - a. 将语音信号转换为数字信号
 - b. 将数字信号转换为电信号
 - c. 在本地环路上放大数字信号
 - d. 提供 ISDN 连接
11. 使用卫星传输语音信息的一个缺点是 ()。
 - a. 发送设备和接收设备之间的传输延迟
 - b. 小带宽
 - c. 高差错率
 - d. 不可预知的设备行为
12. 通常用来在卫星网络上传输数据的协议是 ()。

- a. HDLC (或 HDLC 子集) b. LAPD c. XDSL d. ADSL
13. 压缩的目的是 ()。
- a. 建立更便宜的电信设备 b. 更有效地使用电信设备
c. 建立更安全的网络 d. 提供永久的通信设备
14. 下面哪一项最适合描述 ADSL? ()
- a. 它是模拟服务
b. 它是永久服务
c. 信息只从用户传输到中心局
d. 信息在一个方向的传输速率高于另一个方向的传输速率
15. 部分 T1 线路是 ()。
- a. 64 kb/s 信道 b. 58 kb/s 信道 c. T1 信道 d. T3 信道
16. 下面哪一项技术支持 DDS? ()
- a. 卫星通信 b. 数字调制解调器
c. 模拟调制解调器 d. Codec
17. DTE 的特征是 ()。
- a. 网络中的终端设备或结点 b. 电话公司维护的通信设备
c. 高速交换机 d. DSU/CSU
18. T1 等同于 ()。
- a. DS 0 b. ISDN 基速率 c. DS 1 d. E1
19. 数据通过 T1 信道时的传输速率通常为 56 kb/s 的原因是 ()。
- a. T1 信道的一部分用于语音通信的带内信令
b. 56 kb/s 是通过 T1 进行数据通信的最高理论速率
c. T1 只以 56 kb/s 的速率传输信息
d. 它是使用 T1 信道的最有效方式
20. 多路复用器用来 ()。
- a. 将低速输入信号映射成高速输出信号
b. 将高速输入信号映射成低速输出信号
c. 将模拟信号转换为数字信号
d. 将数字信号转换为模拟信号
e. 以上都不对
21. SONET 的构件块是 ()。(选两项)
- a. STS-1 b. 51.84 Mb/s c. 48 kb/s d. 64 kb/s e. a 和 b 都对
22. STS 和 OC 信号之间的主要区别是 ()。
- a. STS 是数字的, OC 是模拟的 b. STS 是低速的, OC 是高速的
c. STS 是电信号, OC 是光信号 d. STS 是二进制的, OC 是八进制的
23. HDLC 协议的目的是 ()。

- a. 通过远程通信链路传输信息 b. 在网络上传输数据包
 - c. 在进程之间传输信息 d. 将应用信息从客户机传输到服务器
24. 下列哪种技术在协议栈的最低层? ()
- a. 包交换 b. X.25 包交换 c. 帧中继 d. 信元中继
25. 帧在协议栈的哪一层? ()
- a. 物理层 b. 数据链路层 c. 网络层 d. 运输层
26. SONET 位于下面的哪一层? ()
- a. 物理层 b. 数据链路层 c. 网络层 d. 运输层
27. 下列哪种技术效率最低? ()
- a. 帧交换 b. 信元交换 c. 包交换 d. 帧中继
28. 下面关于表示帧中继电路标识符的是 ()。
- a. CIR b. LMI c. DLCI d. VPI

【解答提示】参考答案是选项 c。

29. 下面关于 RS-232-C 标准中, 正确的是 ()。

- a. 可以实现长距离远程通信
- b. 可以使用 9 针或 25 针 D 型连接器
- c. 必须采用 24 根线电缆进行连接
- d. 通常用于连接并行打印机

【解答提示】参考答案是选项 b。

30. 设信道带宽为 4 000 Hz, 采用 PCM 编码, 采样周期为 125 μ s, 每个样本量化为 128 个等级, 则信道的数据速率为 ()。

- a. 10 kb/s b. 16 kb/s c. 56 kb/s d. 64 kb/s

【解答提示】参考答案是选项 c。

31. 在异步通信中, 每个字符包含 1 位起始位, 7 位数据位, 1 位奇偶校验位和 1 位终止位, 每秒钟传送 200 个字符, 采用 DPSK 调制, 则码元速率为 (1), 有效数据速率为 (2)。

- (1) a. 200 波特 b. 500 波特 c. 1000 波特 d. 2000 波特
- (2) a. 200 b/s b. 1 000 kb/s c. 1 400 b/s d. 2 000 b/s

【解答提示】参考答案是: (1) 选项 d; (2) 选项 c。

32. 关于无线网络中使用的扩频技术, 下面描述中错误的是 ()。

- a. 用不同的频率传播信号扩大了通信的范围
- b. 扩频通信减少了干扰并有利于通信保密
- c. 每一个信号比特可以用 N 个码片比特来传输
- d. 信号散布到更宽的频带上降低了信道阻塞的概率

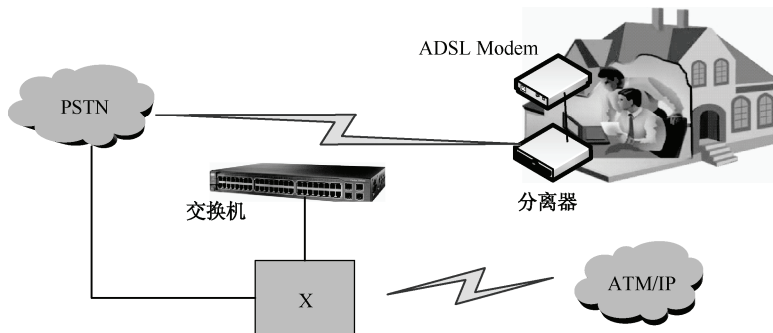
【解答提示】参考答案是选项 a。

33. 正在发展的第四代无线通信技术推出了多个标准, 下面的选项中不属于 4G 标准的是 ()。

- a. LTE b. WiMAX c. WCDMA d. UMB

【解答提示】参考答案是选项 c。

34. 下图是家庭用户安装的 ADSL 宽带时的拓扑结构，图中左下角的 X 设备是（1）；为了建立虚拟拨号线路，在用户终端上应安装（2）协议。



- (1) a. DSLAM b. HUB c. ADSL Modem d. IP Router
(2) a. ARP b. HTTP c. PPTP d. PPoE

【解答提示】参考答案是：（1）选项 a；（2）选项 d。

35. SONET 协议的所有层都和 OSI 参考模型的物理层有关。判断正误。
36. HDLC 信息帧的控制字段用来进行流量控制和信息接收。判断正误。
37. 数字信号的传输使用 4 条线来支持半双工通信。判断正误。
38. 网络-网络接口（NNI）协议依赖于所使用的技术。判断正误。
39. 多路复用器可以获取高速数字比特流，并将其分解为多路数字输出信息流。判断正误。
40. Codec 和调制解调器的作用基本相同。判断正误。

附录 B 术 语 表

A

Access Concentrator 访问集中器

在基于 IP 的语音传输 (VoIP) 网络中, 访问集中器将 IP 网络上承载的多条电话线或语音线合并在一起。

Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM) 自适应差分脉冲编码调制

ADPCM 是脉冲编码调制 (PCM) 的一种形式, 它产生的数字信号比标准 PCM 速率较低。ADPCM 不对整个波形进行取样, 而只记录样值之间的差值, 其总的信号数字带宽可减小到 PCM 的一半。

Add/Drop Multiplex (ADM) 增 / 放多路复用器

增 / 放多路复用器 (ADM) 是不必对较高速率的多路复用信号进行多路分解, 就从中抽取和插入较低速率信号的多路复用器 (MUX)。OADM 即光 ADM。

Address Resolution Protocol (ARP) 地址解析协议

ARP 指的是在 TCP/IP 协议中使用 IP 技术进行地址解析的协议。地址解析指的是一台机器将给定的另一台机器 IP 地址解析为相应 MAC 地址的过程。

Adjacent Channel Interference (相) 邻 (信) 道干扰

一个信号超出其指配的频带而“溢出”到指配给另一个信号的频带内所造成的干扰, 就是邻道干扰。

Alternate Mark Inversion (AMI) 极性交替转换码

AMI 是 T1 线路编码格式, 其中连续的“1”位 (传号) 是交替转换的, 而“0”位 (空号) 表示振幅为零。

Amplitude Modulation (AM) 幅度调制

AM 是使载波的振幅随调制信号的变化规律而改变的调制方式。

Asynchronous 异步

异步操作就是不按照严格的时间表传输数据。每个字符的开头都是通过传输一个起始位的方式表示的。发送完字符的最后一位后发送一个停止位, 表示字符发送结束。调制解调器只能在它们传输 8 位数据的时间之内保持同步状态。如果它们的时钟存在微小的不同步现象, 仍然能够成功地进行数据传输。

Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) 非对称数字用户线

ADSL 是一项比较新的技术, 用于通过本地环路进行高速数字通信传输。

Automatic Repeat (or Retransmission) Request (ARQ) 自动重发请求

ARQ 是通信设备用于验证数据接收的一种常用方法。在发送端, 输入的信息码元被编码后发送, 同时暂存在存储器中; 接收端若检出错码, 则发送重传指令, 要求发送端重发一次; 若接收端未发现错码, 则发出不需要重传指令。发送端收到此指令后, 即可发送下一码组, 同时更新存储器的内容。

Automatic Route Selection (ARS) 自动路由选择

自动路由选择 (ARS) 也称为最低成本路由选择 (LCR), 它是一个交换软件模块, 能够使用户对系统进行编程, 以通过选择最佳的公司及其提供的服务来路由个人呼叫。

Automatically Switched Optical Network (ASON) 自动交换光网络

ASON 是指在选路和信令控制之下完成自动交换功能的新一代光网络。它是一种标准化的智能光传送网, 被广泛地认为是下一代光网络的主流技术。

Automation Protection Switching (APS) 自动保护交换

自动保护交换 (APS) 是一种同步光纤网络 (SONET) 结构, 其中 SONET 可从信号路径上的任一点进行网络管理和差错校验。

B**Backward Explicit Congestion Notification (BECN) 后向显式拥塞通告**

BECN 是帧中继帧格式中由帧中继设备设置的位, 该位用来表示在所发送帧相反方向的通信流可能发生过拥塞。

Bandpass Filter 带通滤波器

带通滤波器是一种允许特定频带信号通过而阻止其他频带信号通过的电子设备。带通滤波是频分复用 (FDM) 的基础。

Baseband 基带

基带是一种通信信号, 其中整个媒介都用于承载表示信息的单个信号。在基带信令中, 数字信号和模拟信号都以其原始的频率传输。

Bearer Circuit 承载电路

承载电路是信令层次中定义的基本通信信道。在 VoIP 网络中, 承载电路是从 PSTN 到网关或者跨越两个通信结点之间分组网络的一条特定的端到端介质流。

Bipolar Violation (BPV) 双极破坏 (点)

在 T1 编码格式中, BPV 出现于两个连“1”具有相同的极性时。

Bit Stuffing 位填充

位填充也称为零位插入, 它使二进制数据可在同步传输线路上传送。每一帧都含有用来标识地址、标志位等的特殊位序列, 如果某一帧的信息 (数据) 部分也含有一个这样的特殊序列, 则发送站在其中插入一个 0, 而接收站将其删除。

Broadband 宽带

宽带是一种通信信号, 其媒介用于承载表示信息的多个信号。从局域网的角度来看, 宽带

是指数字信号的模拟传输，而基带是指数字信号的数字传输。

Broadband-Integrated Services Digital Network (B-ISDN) 宽带综合业务数字网

ISDN 线路速率有 3 种：基速率、主速率和宽带速率。基速率（窄带）ISDN 由 2 个 B 信道和 1 个 D 信道组成。每个 B 信道以 64 kb/s 的传输速率传输 1 路 PCM 语音会话或数据。ISDN-PRI 由 23 个传输语音、数据和视频的 64 kb/s B 信道以及 1 个传输信令信息的 D 信道组成，它类似于 T1 信令。B-ISDN（宽带 ISDN）有多个高于主速率的信道，除 B 信道和 D 信道之外，还定义了许多附加信道，包括 A、C 和 H 系列信道。

Broadband Wireless Access (BWA) 宽带无线接入

部分或全部采用无线方式提供宽带接入能力的技术。

C

C Band C 波段

C 波段是电磁频谱的一部分，其频率范围是 4~6 GHz，用于卫星通信。

Call Detail Report (CDR) 呼叫详细报告

CDR 是对所有呼叫及其持续时间的分项记录报告，用于呼叫计费。

cdma2000 cdma2000 系统

cdma2000 是美国提出的第三代移动通信系统（3G）标准，采用宽带码分多址（CDMA）技术。

Central Office (CO) 中心局

CO 是指电话公司在本地环路终结的地方设置的一种装置。CO 的功能是通过一系列交换机将单个电话连接起来，将 CO 分层次捆绑在一起可以提高交换效率。CO 的其他称呼有本地交换中心（Local Exchange）、配线中心（Wiring Center）和端局（End Office）。

Channel Service Unit (CSU) 信道服务单元

CSU 是一种将用户设备连接到数字传输设备（如 T1 电路）的设备。CSU 可以通过本地环路（即电话信道）产生传输信号。CSU 一般与 DSU 配对使用（即 CSU/DSU）。

Class of Service (CoS) 服务等级

服务等级（CoS）又称为服务质量（QoS），通常用来度量一个传输服务的不同特性。从 OSI 参考模型的角度来看，运输层的用户将 QoS 参数规定为对通信信道要求的一部分。这些参数根据应用要求来定义服务的级别。例如，一个要求快速响应的交互应用，对连接建立、吞吐量、转换延迟和连接优先级等将规定较高的 QoS 值。但是，对一个文件传输应用来说，它更需要可靠、无差错的数据传输，因而对剩余差错率要求较高的 QoS 值。

Circuit Emulation Service (CES) 电路仿真业务

允许用户将多个语音和视频电路仿真流与分组数据复用在一个高速异步转移模式（ATM）链路上传输的一种业务。

Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) 稀疏波分复用

稀疏波分复用（CWDM）是波长间隔在 0.2 nm 以下（相应频率间隔大于 25 GHz）的波分

复用。

Code Division Multiple Access (CDMA) 码分多址

码分多址 (CDMA) 是利用不同的码序列分割成不同信道的多址技术。

Coder-Decoder (Codec) 编解码器

Codec 是一种硬件设备, 能够接收模拟信号, 并将其转换成相应的数字化表示形式。

Committed Burst Size (CBS) 承诺最大信息帧长度

CBS 是指在一段时间间隔内电路所能传输的比特数。

Committed Information Rate (CIR) 承诺信息速率

CIR 是对帧中继服务所承诺的平均数据传输速率。

Convergence Technologies 融合技术

融合技术是允许不同类型的媒介在相同网络上传输的协议和系统。

Customer Premises Equipment (CPE) 用户前端设备

CPE 也可以表示用户自备设备, 它是指用户端的电话设备。

D

Data Communication/Circuit-terminating Equipment (DCE) 数据通信设备 / 数据电路端接设备

DCE 设备是 OSI 模型的第 1 层设备, 负责与物理链路上电信号的正确初始化, 并建立信号时钟和实现同步。

Digital Data Service (DDS) 数字数据服务

DDS 表示数字数据服务 (也叫数据电话数字服务, Dataphone Digital Service), 是由提供数据通信数字设备的电话公司开设的一系列服务。DDS 有多种传输速率, 包括 2.4 kb/s, 4.8 kb/s, 9.6 kb/s 和 56 kb/s。

Data Link Connection Identifier (DLCI) 数据链路连接标识符

DLCI 是帧中继帧的一部分, 用来标识一帧的虚电路。它是一个 10 位的地址, 前 6 位来自帧中继报头的第一个 8 位字节的前 6 位, 后 4 位来自帧中继报头的第二个 8 位字节的前 4 位。DLCI 标识了用户和网络之间的逻辑信道, 但不能涵盖整个网络。

Data Service Unit (DSU) 数据服务单元

DSU 是将用户专用设备连接到数字传输设备上的另一种设备, 常与 CSU 一起使用。DSU 从 LAN 获取信息, 并生成适合公共发送设备传输的数字信息。

Data Terminal/Termination Equipment (DTE) 数据终端 / 端接设备

DTE 是执行第二层或更高层协议的设备, 通常是一台计算机。DTE 取决于与通信链路连接的 DCE 的服务。

Dense Wavelength-division Multiplexing (DWDM) 密集波分复用

DWDM 利用多个光波长通过单根光纤传输信号, 其中每个波长 (或信道) 都能承载其速

率达 2.5 Gb/s 或更高的数据。每根光纤的可用信道在 50 个以上。

Dial-on-Demand Routing (DDR) 按需拨号路由

DDR 是用于电路交换链路的一种技术，它允许路由器只有当信息在路由器接口时开始连接，信息传输结束后路由器断开连接。

Differential Phase-Shift Keying (DPSK) 差分相移键控

DPSK 是一种由相位的变化来表示数据的调制方式。

Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM) 数字用户线路访问多路复用器

DSLAM 是各种 DSL 系统的局端设备，属于最后一公里接入设备，其功能是接纳所有的 DSL 线路，汇聚流量，相当于一个二层交换机。通常，DSLAM 位于 LEC 的中心局 (CO)，将许多用户 DSL 链接到一条单个高速 ATM 线路。

Direct Inward Dialing (DID) 直接拨入

直接拨入 (DID) 是 PBX 直接将呼叫路由至特定分机 (由最后 4 位数字识别) 的过程。输入中继线都必须专门进行配置，以支持 DID。

Direct Inward System Access (DISA) 直接系统接入

DISA 是通过长途线路或免费长途线路拨号进入一个电话系统，以使用内部电话系统服务和性能的方法。例如，远程用户可通过免费 DISA 线路拨入公司 PBX，然后使用公司的长途服务。

Discard Eligibility (DE) bit 可丢弃位

DE 位用来为帧中继设备提示：在发生拥塞时，同其他没有设置 DE 位的帧相比，该帧可以被丢弃。

Drop-and-insert Equipment 分接 / 插入设备

分接 / 插入设备用于在某个中间结点对电路进行解调 (分接)，加入信息 (插入) 后在同一路上传输。例如，ATM 增 / 放多路复用器 (ADM) 就属于分接 / 插入设备。

E

E1

E 标准是与北美 T-Carrier 标准类似的欧洲标准。E1 与 T1 类似，但数据速率为 2.048 Mb/s，支持 30 个通信信道。

End Office 端局

端局是指电信公司在本地环路终结的地方设置的一种装置。端局的功能是通过一系列交换机将单个电话连接起来。将端局分层次捆绑在一起可以提高交换效率。端局的其他名称有本地交换中心 (Local Exchange)、配线中心 (Wiring Center)、中心局 (Central Office) 和公用交换中心 (Public Exchange)。

Excess Burst Size (EBS) 超出最大信息帧长度

EBS 是帧中继网络在给定的时间间隔内能传输的超出 CBS 的最大未承诺数据量 (以位为单位)。该数据通常是以较低的概率传输，作为可丢弃帧处理。

Excess Information Rate (EIR) 额外信息速率

帧中继 EIR 是在 CIR 之上的数据速率。超出 CIR 的数据由运营商尽力传输, 被认为是可丢弃的。

F**Fade 衰落**

衰落是指信号随着传输距离的增加而逐渐减弱(常称为“衰减”)。

Fast-Packet Switching 快速包交换

快速包交换是一种包交换技术, 位于开放式系统互连(OSI)协议栈的物理层和数据链路层。由于快速包交换位于这些较低层(只需进行少量处理), 并且数据包也很小, 因此运行速度非常高。

Fiber Distributed Data Interface (FDDI) 光纤分布式数据接口

FDDI 是一种局域网(LAN)标准, 适用于使用光缆的 100 Mb/s 令牌传递网络。

Forward Error Correction (FEC) 前向纠错

FEC 是一种检错和纠错的技术, 就是在发送的数据净荷帧中加入一些多余的位, 接收设备可以再生这些位并恢复传输错误。

Forward Explicit Congestion Notification (FECN) 前向显式拥塞通告

FECN 是帧中继设备在所发送帧中设置的位, 用来告知接收设备该帧在从源结点到目的结点的途中发生过拥塞。

Frame Relay 帧中继

帧中继是一种广域数据传输技术, 其工作速率通常为 56 kb/s~1.5 Mb/s。帧中继实质上是一种电子交换, 它物理上是一台连接到 3 条以上高速链路上并在他们之间路由数据流量的设备。

Frame Relay Access Device (FRAD) 帧中继接入设备

FRAD 是一种提供帧中继网络接入的设备, 如交换机或路由器。

Frame Tagging 帧标记

帧标记是用来标识虚拟局域网(VLAN)网段成员的一种技术。当一帧通过网络传送时, 帧标记在帧头中加入一个惟一的标识符。

Frequency Modulation (FM) 调频

FM 是一种信号调制方法, 它使载波的频率随调制信号的变化规律而改变。

Frequency-Shift Keying (FSK) 频移键控

FSK 是一种用模拟波形表示数字信号的方法, 如“0”用一个特定频率表示, “1”用另一个特定频率表示。

G**Gain 增益**

增益是指信号功率、电压或电流的增加程度。信号放大器可产生增益。

Geostationary Satellite 静止卫星

卫星通信系统从地球站向位于空间的卫星发射信号，其地面天线对准离地面约 35 800 km 轨道上固定点的静止卫星。静止卫星又称为同步卫星。

Guardband 保护带

保护带是防止相邻传输信道之间重叠而设置的未用频带。例如，分配给两个相邻无线基站的频带之间就是由一个无发射的保护带分隔开的。

H**Harmonic Distortion 谐波失真**

一个频率的整数倍称为谐波。例如，4 000 Hz 和 6 000 Hz 都是 2 000 Hz 的谐波。谐波失真描述的是一个输入信号的谐波被放大和传送的趋势。例如，放大器的回授就是一种谐波失真，它是由于话筒离扬声器太近而引起的尖叫声。

Hertz (Hz) 赫兹

1 Hz 是每秒 1 个正弦波（电波）周期。1 MHz 是每秒 100 万个周期。

High-Level Data Link Control (HDLC) 高级数据链路控制

HDLC 是表示一系列数据链路层协议（如 SDLC, LAPB 和 LAPD）的 ISO 通信协议。HDLC 的操作包括 3 种类型帧（信息帧、监督帧和未编号帧）的交换。两台正在通信的计算机通过这 3 类帧来交换命令和应答信息。

High-Level Data Link Control (HDLC) Information Frame HDLC 信息帧

HDLC 信息帧是在两台计算机之间承载数据的 HDLC 帧。

High-Level Data Link Control (HDLC) Supervisory Frame HDLC 监督帧

HDLC 监督帧是两台计算机之间交换控制数据流的 HDLC 帧。例如，通过在监督帧中插入适当的码，一台计算机可以确认数据已收到，否则可要求对方重发。

High-Level Data Link Control (HDLC) Unnumbered Frame HDLC 未编号帧

HDLC 未编号帧是两台正在通信的计算机之间交换控制信息的帧。例如，通过在监督帧中插入适当的号，一台计算机可以改变操作模式，或者要求断开连接。

Hybrid Fiber Coax (HFC) 混合光纤同轴电缆

HFC 是一种网络设计方法，将光纤与同轴电缆组合成一个单一网络。HFC 通常用于有线电视产业。

I**Integrated Digital Network (IDN) 综合数字网**

IDN 是一种将数字传输与数字交换集成在一起的网络，如 ISDN。

Integrated Services Digital Network (ISDN) 综合业务数字网

ISDN 是一种数字多路复用技术，可通过单个本地环路传输语音、数据和其他通信形式。ISDN-BRI 提供 2 条 64 kb/s 的承载信道(B 信道)和 1 条 16 kb/s 的控制信道(D 信道);ISDN-PRI

也称为 T1 服务，它提供 23 条 64 kb/s 的 B 信道和 1 条 16 kb/s 的 D 信道。

Intelligent Information (II) Digits 智能信息 (II) 数字

II 数字是与 ANI 一起使用的两位数字串，用以识别基于 ISDN-PRI 服务的入呼叫类型。用户可根据 II 数字信息对呼叫进行检测、路由和禁止。

Interexchang Carrier (IXC) 长途交换公司

IXC 是在不同的 LATA 之间提供电话和数据服务的长途公司，如 AT&T, MCI 等。

Intermediate Distribution Frame (IDF) 中间配线架

中间配线架是为主配线架 (MDF) 与终端设备线之间提供中间连接的设备间或设备柜。网络主干运行于 MDF 和 IDF 之间。

Inverse Multiplexer 反向多路复用器

反向多路复用器是将一组数据流拆分成两组或更多组数据流，以便通过多条信道进行传输的设备。

ISDN-BRI 综合业务数字网-基速率接口

ISDN-BRI 提供 2 路 64 kb/s 的承载信道 (B 信道) 和 1 路 16 kb/s 的控制信道 (D 信道)。

ISDN-PRI 综合业务数字网-主速率接口

ISDN-PRI 也称为“T1 服务”，提供 23 路 64kb/s 的承载信道 (B 信道) 和 1 路 64 kb/s 的控制信道 (D 信道)。

K

Ka Band Ka 波段

Ka 波段是电磁频谱的一部分，其频率范围是 20~30 GHz，用于卫星通信。

Ku Band Ku 波段

Ku 波段是电磁频谱的一部分，其频率范围是 11~14 GHz，用于卫星通信。

L

Leased Line 专线

由于早期的模拟电话线路有噪音，电话公司常常将线路“租借”给公司，供他们连续、不间断地使用。这些租借线路也叫作“专线”。

Line Overhead (LOH) 线路开销

SONET 线路开销 (LOH) 是 SONET 帧中控制净荷在网络单元之间可靠传输的那部分。

Line Terminating Equipment (LTE) 线路端接设备

SONET LTE 是运行在 SONET 线路层的设备，如 ADM。路径端接设备 (PTE) 的功能与 LTE 相同。

Link Access Procedure Balanced (LAPB) 平衡型链路接入规程

LAPB 是通过 HDLC 协议实现的一种数据链路层协议。LAPB 主要用于 X.25 网络，它在两台已连接的设备之间提供一条无差错的链路。

Link Access Procedure for D Channel (LAPD) D 信道链路接入规程

LAPD (或 LAP-D) 是综合业务数字网 (ISDN) 层次协议的一部分, 与 LAPB 非常相似。LAPD 定义了 ISDN D (信令) 信道所使用的协议, 以提供设置呼叫和其他信令功能的接口。

Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) 链路容量调整机制

LCAS 是为了在传统 SDH 网络中更好地传送数据业务开发的一种技术, 它提供了一种虚级联链路首端和末端的适配功能, 可用来增加或减少 SDH/OTN 网中采用虚级联构成的容器的容量大小。LCAS 利用 SDH 预留的开销字节来传递控制信息。

Link Control Protocol (LCP) 链路控制协议

LCP 是点对点协议 (PPP) 用来建立和测试串行连接的一种传输协议。

Local Access and Transport Area (LATA) 本地接入传输区域

LATA 是地理上的呼叫区域, 在此区域范围内本地交换公司 (LEC) 可提供本地和长途服务。

Local Exchange Carrier (LEC) 本地交换公司

LEC 是为用户的家庭和企业提供电话连接和电话服务, 并收取服务费用的公司。

Local Loop 本地环路

本地环路或用户线环路是从家庭或公司延伸到电话网络中的第一台交换机的连线, 又叫作“最后一公里”。

Low-pass Filter 低通滤波器

低通滤波器是一种只允许低于某个特定频率的信号通过的设备。

M**Main Distribution Frame (IDF) 主配线架**

主配线架是提供外部设备网络布线与室内设备布线之间连接的设备间或设备柜。例如, 本地 VoIP 网络到 ISP 网络之间的连接。

Media Gateway Control Protocol (MGCP) 介质网关控制协议

MGCP 是与 H.323 标准竞争的控制和信令标准, 它将大量的呼叫处理开销卸载到外部呼叫控制单元, 因而不需要复杂的 IP 电话设备, 从而简化了 VoIP 标准。

Media Gateway Controller (MGC) 介质网关控制器

MGC 用来控制 MG 的功能, 包括呼叫和连接控制以及资源管理。

Media Gateway (MG) 介质网关

MGCP MG 是一个网络结点, 其功能是终止 PSTN 电路以及与路由器的连接。

Meshed Network 网状网络

网状网络是端点之间由多条物理路径构成的网络。

Metropolitan Area Network (MAN) 城域网

城域网是在一个城市范围内所建立的计算机通信网, 简称 MAN。属宽带局域网。由于采用具有有源交换元件的局域网技术, 网中传输时延较小, 它的传输媒介主要采用光缆, 传输速

率在 100 Mb/s 以上。MAN 的一个重要用途是用作骨干网,通过它将位于同一城市内不同地点的主机、数据库以及 LAN 等互相连接起来,这与 WAN 的作用有相似之处,但两者在实现方法与性能上有很大差别。

Modem 调制解调器

Modem 是“modulator/demodulator”的缩写,用来将二进制数据转换成适合于在电话网络上传输的模拟信号。

Modulation 调制

调制是改变载波(电信号)形状,以便能够在某些特定的通信介质上携带智能信息的过程。

Modulo 模

“模”用来描述计数器的最大状态数。例如,在卫星通信链路中,模 128 表示在接收端发送确认信息之前包计数器可跟踪 128 个出站和入站的包。计数器在达到其最大计数值后就复位为 0。

Multipath Reflection 多径反射

多径反射是指一个无线电信号经过多个障碍物的反射,引起多路信号到达接收天线的现象。由于原信号和反射信号的传输距离不同,抵达接收端的时间就不同,从而会引起声音回响和图像“鬼影”。多径反射又称多径接收。

Multiplexer (MUX) 多路复用器

多路复用器(MUX)是使多个信号能在同一物理介质上传输的计算机设备。

Multipoint Control Unit (MCU) 多点控制器

多点控制器(MCU)指协调拥有 3 个或 3 个以上终端的多点会议的主机,而这些终端使用 H.323 数据包多媒体标准。所有参与会议的 H.323 终端都必须与多点控制器(MCU)建立连接。

Multi-protocol Label Switching (MPLS) 多协议标签交换

多协议标签交换(MPLS)是核心路由器利用边缘路由器在 IP 分组内所提供的前向信息的标签(Label)或标记(Tag)来实现网络层(第 3 层)交换的一种交换技术。

Multi-service Transport Platform (MSTP) 多业务传送平台

MSTP 是基于同步数字系列(SDH)技术,同时实现时分复用(TDM)、异步转移模式(ATM)、以太网等业务接入、处理和传送功能,并提供统一网管的网络。

N

Network Control Point (NCP) 网络控制点

NCP 是软件定义网络(SDN)的一个结点,用户的 VPN 数据库就驻留在 NCP 上。NCP 一个呼叫是保留 VPN 上还是必须 VPN,这由 NCP 来决定。

Network Control Protocol (NCP) 网络控制协议

NCP 是允许 PPP 同时在单一连接上支持多个第 3 层协议的协议。

Network Interface 网络接口

NI 是用户设备和运营商网络之间的互连点，位于用户前端。

Network Interface Unit (NIU) 网络接口单元

网络接口单元 (NIU) 是运营商网络与用户前端设备 (CPE) 之间的分界点。NIU 可以包括雷击时断开线路的保护设备。

O**Optical Carrier (OC) 光载波**

光载波 (OC) 是用来规定符合同步光纤网络 (SONET) 标准的网络速率的一个术语，指 SONET 技术的光特性。

Optical Cross-connect (OXC) 光交叉连接

光交叉连接 (OXC) 是一种能在不同的光路径之间进行光信号交换的光传输设备。

Overreach 渡越 (干扰)

当无线电信号从发送天线通过中间转发天线发射到接收天线时，由于来自转发天线的信号略有延迟，因而直射信号和转发信号在接收端会产生干扰，即渡越干扰。

P**Packet Assembler/Disassembler (PAD) 包装拆器**

PAD 是一种 X.25 网络设备，它从终端或主机接收字符，并将它们“组装”为便于在网络中传输的包。然后，接收端从传输到目的终端或主机的数据包中提取字符。

Packet Layer Protocol (PLP) 分组层协议

分组层协议 (PLP) 是一个 OSI 模型第 3 层协议，用来管理 X.25 网络中 DCE 与 DTE 之间的连接。

Packet Switching 包交换

包交换是将数据以包的形式通过网络传送的过程。帧中继和 X.25 网络都是包交换网络的例子。

Packet Telephony 分组电话

分组电话是利用无连接的分组网络（而不是公共交换电话服务）提供的语音电话服务。

Pair Gain 线对增容

线对增容是指用较少的物理电话线来复用给定数量的电话会话。

Path Overhead (POH) 路径开销

SONET POH 是同步净荷包 (SPE) 的一部分，它承载用于端到端网络管理的 OAM&P 信息。

Path Terminating Equipment (PTE) 路径端接设备

SONET PTE 由发起和结束传输服务的网络部件组成。

Permanent Virtual Circuit (PVC) 永久虚电路

PVC 是两种虚电路中的一种, 另一种是 SVC。PVC 就像信源和信宿 (端结点) 之间的专线。激活后, PVC 总会在两个端结点之间建立一条链路。PVC 通常应用在包 (或信元) 交换网中。

Phase Modulation 调相

PM 是一种信号调制方法, 它使载波的相位随调制信号的变化规律而改变。

Phase-Shift Keying (PSK) 相移键控

PSK 是一种用改变模拟载波的信号相位来表示数字信号的方法。

Point of Presence (POP) 出现点

POP 是两个网络之间的物理传输点。在大多数情况下, POP 是与 LEC 的 CO 位于同一座建筑的 CO 交换机, 但也可以指 ISP 的 Internet 接入结点。

Point-to-Point Protocol (PPP) 点对点协议

PPP 是允许计算机按照点对点连接方式使用 TCP/IP 的协议。PPP 是基于处理局域网链路和广域网链路的 HDLC 标准的, 运行于 OSI 模型的数据链路层。

Private Branch Exchange (PBX) 专用小交换机

专用小交换机 (PBX) 是将一个专用网络的电话用户 (如一个企业) 连接到外部电话公司线路的设备。现在的 PBX 都是全数字的, 不仅提供非常先进的语音服务 (如语音消息), 而且提供语音和数据的综合业务。

Private Network 专用网络

专用网是由专线、交换设备以及其他连网设备组成的仅供一家用户使用的网络。换句话说, 此网络及其相关设备不是供普通公用用户使用的。

Protocol Data Unit (PDU) 协议数据单元

协议数据单元 (PDU) 是由开放系统参考模型的特定层创建的数据报。PDU 用来在本地进程与远端进程之间提供端到端的通信。

Public Network 公用网

公用网是公众可以用来传输语音、数据和其他业务类型的网络。

Public Switched Telephone Network (PSTN) 公用电话交换网

即主要用于提供电话业务的公用网。一般来说, PSTN 是国内电话网的统称。

Pulse Code Modulation (PCM) 脉冲编码调制

PCM 是将模拟语音信号转换成经传输后可以精确还原成语音信号的方法。编解码器 (Codec) 对语音信号每秒取样 8 000 次, 然后以非常紧凑的形式将每个样值转换成表示该样值振幅和频率的二进制数。这些二进制数被传送到目的结点。接收端的 Codec 执行相反的过程, 用二进制数流重构模拟语音的原始波形。

Q

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) 正交幅度调制

QAM 是一种将数字数据表示成模拟波形的调制方式。QAM 同时改变模拟信号的相位和幅度,使它在单一信号中能表示 4 位或更多位的数字数据。

R

Rate-Adaptive Digital Subscriber Line (RADSL) 速率自适应数字用户线

速率自适应数字用户线 (RADSL) 是通过现有的双绞电话线进行自适应高速数据传送的一种传输技术。它使用智能 DSL 调制解调器,可根据本地环路的性能特点,动态地调节传输速率。RADSL 支持高达 7Mb/s 的下行数据流传输和 640 kb/s 的双向上行数据流传输。

Resilient Packet Ring (RPR) 弹性分组环

弹性分组环 (RPR) 技术是一种在环形结构上优化数据业务传送的新型 MAC 层协议,能够适应多种物理层 (如 SDH、以太网、DWDM 等),可有效地传送数据、语音、图像等多种业务类型。它融合了以太网技术的经济性、灵活性、可扩展性等特点,同时吸收了 SDH 环网的 50 ms 快速保护的优点,并具有网络拓扑自动发现、环路带宽共享、公平分配、严格的业务分类 (COS) 等技术优势,目标是在不降低网络性能和可靠性的前提下提供更加经济有效的城域网解决方案。

Resource Reservation Protocol (RSVP) 资源保护协议

RSVP 是一个新的 Internet 协议,其目的是使 Internet 能够支持规定的 QoS。

S

Section Overhead (SOH) 分段开销

SONET SOH 是 SONET 帧的一部分,专门用来传送状态、消息和告警指示,用于 SONET 链路维护。

Section Terminating Equipment (STE) 分段端接设备

SONET STE 是运行在 SONET 分段层上的设备,如 SONET 分段器。PTE 和 LTE 也执行 STE 的功能。

Serial Line Internet Protocol (SLIP) 串行线路网际协议

SLIP 不是正式的 Internet 标准,而是包括很多 TCP/IP 应用的一个实际标准。SLIP 最初是为远程连接到 UNIX TCP/IP 主机而开发的。

Session Initiation Protocol (SIP) 会话发起协议

SIP 是一个 OSI 模型的应用层协议,用于通过基于 IP 的网络进行会议和电话会话的建立、修改和终止。SIP 比 H.323 速度更快,可伸缩性更大,而且更易于实现。

Signaling 信令

信令是电话系统用来表示呼叫状态的方法。信令用来建立和强拆呼叫,还表示与呼叫处理有关的交换局和 PBX 的呼叫接续过程。

Simple Gateway Control Protocol (SGCP) 简单网关控制协议

SGCP 是 Bellcore 创立的一个协议和体系结构, 用来为传统 PSTN 语音网络与包交换 IP 网络之间提供接口。SGCP 工作在 OSI 模型的数据链路层 (第 2 层)。

Simple Network Management Protocol (SNMP) 简单网络管理协议

SNMP 是一个 TCP/IP 应用层协议, 用来在 TCP/IP 网络上发送和接收有关网络资源状态的信息。数据网络常常能支持 SNMP 功能, 而传统的语音网络不能。

Software Defined Network (SDN) 软件定义网络

SDN 是 AT&T 的语音虚拟专用网 (VPN) 服务, 它通过私有运营商拥有的共享线路提供专用语音网络服务。

Spanning Tree Protocol (STP) 生成树协议

生成树协议是由 Sun 微系统公司著名工程师拉迪亚·珀尔曼博士 (Radia Perlman) 发明的。它通过生成生成树保证一个已知的网桥在网络拓扑中沿一个环动态工作。生成树协议的主要功能有两个: 一是利用生成树算法在以太网中, 创建一个以某台交换机的某个端口为根的生成树, 避免环路。二是在以太网网络拓扑发生变化时, 通过生成树协议达到收敛保护的目的。

Statistical Time-Division Multiplexing (STDM) 统计时分复用

统计时分复用 (STDM) 是时分复用 (TDM) 的一种更灵活的方法。TDM 给每个信道都分配固定数量的时隙, 而不管该信道是否有数据要发送。与此不同, STDM 的多路复用器 (MUX) 对传输模式进行分析, 以预测一个信道流量中的间隙, 这个间隙可用另一个信道的部分流量来临时填充。

Switched Multimegabit Data Service (SMDS) 交换多兆位数据服务

SMDS 是由电话公司提供的一种高速信元交换数据通信服务。

Switched Virtual Circuit (SVC) 交换虚电路

SVC 是在交换网络中建立的临时连接。ATM VC 和电话连接是 SVC 的典型例子。

Synchronous 同步

同步操作是指两台通信设备将其内部定时电路进行严格同步的过程 (通常在建立连接之后通过发送一定长度的突发位来实现)。传输数据时, 发送设备 (如一台调制解调器) 不时地向线路中发送一个 0 或 1。接收设备按照与发送设备相同的时序对线路进行采样, 以便准确地接收信息。要进行无差错通信, 设备之间必须保持同步。

Synchronous Data Link Control (SDLC) 同步数据链路控制

SDLC 作为一种数据链路协议, 被 IBM 系统网络体系结构 (SNA) 的基于主机的系统广泛采用。SDLC 使用一般的主 / 从模式, 其中一个结点控制其他结点如何接入网络。

Synchronous Data Link Control (SDLC) 同步数据链路控制

SDLC 是 HDLC 标准的子集, 它是数据链路层协议, 通常用于 SNA 网络。

Synchronous Digital Hierarchy (SDH) 同步数字系列

SDH 是在光缆上传输同步数据的一种国际标准, 类似于北美 SONET 标准。SDH 定义的标准传输速率为 155.52 Mb/s。

Synchronous Optical Network (SONET) 同步光纤网

SONET 是高速光纤传输标准。SONET 标准定义了一个类似于 T 形载体的信号分层,但可以扩展到更高的带宽。基本的传输数据块是 STS-1 51.84 Mb/s 信号,用于适配 T3 信号。数据块最高定义到 STS-48,即 48 个 STS-1 通道,合计速率为 2 488.32 Mb/s,能够承载 32 256 个话音电路。

Synchronous Payload Envelope (SPE) 同步净荷包

SONET SPE 是 SONET 帧中承载净荷数据的那部分。

T**T1**

1962 年,贝尔系统建立了第一个北美 T-Carrier 标准,用于复用数字化的语音信号,以取代 FDM 系统,提供更好的传输质量。T-Carrier 标准系列包括 T1、T1C、T1D、T2、T3 和 T4 等。

Telephony 电话

电话是指语音信号的长距离传输设备,例如采用交换机、电话机和传输介质等。

Telephony Application Programming Interface (TAPI) 电话应用编程接口

TAPI 是由 Microsoft 和 Intel 于 1993 年提出的应用编程接口 (API),用来给 Windows 系列产品添加电话性能。

Telephony Gateway 电话网关

电话网关是经过专门装备的计算机或路由器,用来在电话网络和 IP 网络之间提供接口,将语音电话呼叫转换成 IP 数据,或者将分组化的呼叫转换成标准的电话信号。

Terminal Adapter (TA) 终端适配器

TA 是非 ISDN TE2 与 ISDN 网络间的硬件接口。

Time Slot 时隙

时隙又称时间片,是时分复用 (TDM) 中给数据流分配的一个固定传输时间周期。

Time-Division Multiplexing (TDM) 时分复用

TDM 是通过给每一路信号分配固定的时隙,在同一传输链路上传输多路信号的复用技术。

Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access (TD-SCDMA) TD-SCDMA 系统 (时分同步码分多址)

TD-SCDMA 是由中国提出的采用时分双工技术的同步码分多址系统,是第三代移动通信系统 (3G) 三大国际标准之一 (另外两个 3G 标准是 CDMA2000 和 WCDMA)。TD-SCDMA 是以我国知识产权为主的、被国际上广泛接受和认可的无线通信国际标准,是我国电信史上重要的里程碑。

Transponder 转发器

转发器是安装在卫星上的设备,它接收微弱的微波信号,进行放大、调节,并重新发射回地面。

Trunk 干线，中继线

干线是指电话网络中端局之间的物理连接。中继线是专用小交换机 (PBX) 与中心局 (CO) 交换机之间的连接。

Tunneling 隧道

隧道技术使得网络协议可以将其他协议的信息放到自己的数据包内，例如：将 IPX 数据包放到 IP 数据包中。使用数据加密技术，可使数据包的安全性得到保证。

U**Unified Messaging 统一消息传送**

统一消息传送也称为综合消息传送，它允许用户从一个中心位置以所有的消息源（语音、E-mail、传真和语音邮件等）进行接收、发送和交互。

Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) 通用异步收发器

UART 是一种串行接口的一部分。这种串行接口进行并/串变换，添加起始位、停止位和奇偶校验位，监控端口状态，控制电路时序，缓冲数据等；在接收端进行相反的过程。

User-Network Interface (UNI) 用户-网络接口

用户-网络接口 (UNI) 定义了用户设备（如 FRAD）与帧中继网络之间的接口规程和协议。UNI 同时也定义了 ATM 网络设备与 ATM 网络之间的接口。

V**Very High-bit-rate Digital Subscriber Line (VDSL) 甚高速数字用户线**

VDSL 是新一代更高速的 DSL 技术，其传输速率可达 52 Mb/s（下行）和 1.5~2.3 Mb/s（上行）。

Very Small Aperture Terminal (VSAT) 甚小口径终端

VSAT 是一种较小口径（1.5~3 m）的卫星天线，用于卫星点对多点通信。

Virtual Circuit 虚电路

虚电路是一条通信路径。虽然数据在源结点和目的结点之间传送时可能会途经不同的路径，但是对发送设备和接收设备而言，虚电路就像只有一条单一的线路一样。

Virtual Private Network (VPN) 虚拟专用网

虚拟专用网 (VPN) 是基于共享网络的一种连接，它看起来好像是一条专用链路。

Virtual Tributary (VT) 虚拟分支

虚拟分支 (VT) 是一个可进行多路复用，从而组成较高容量信道的低级信道。例如，28 个 T1 (DS1) 信道

Voice over Internet Protocol (VoIP) 基于 IP 的语音传输

VoIP 是以 IP 分组的形式传送电话信号的技术。

W

Wavelength Division Multiplexing (WDM) 波分复用

波分复用 (WDM) 是为了使若干独立信号能在一条公共光通路上传输, 而将其分别配置在分立的波长上的复用。由于其经济性与有效性, WDM 技术已成为光纤通信网络扩容的主要手段。

Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) 宽带码分多址

WCDMA 是由欧洲和日本提出的第三代移动通信 (3G) 标准。

Wireless MAN 无线城域网

无线城域网是指以无线方式构成的城域网, 提供面向互联网的高速连接。

Wireless Metropolitan Area Network (WMAN) 无线城域网

无线城域网 (WMAN) 是以无线方式构成的城域网 (MAN), 它提供面向互联网的高速连接。

Worldwide Intelligent Network (WIN) 全球智能网

全球智能网 (WIN) 是世界上最大、最先进的通信网。

参 考 文 献

- [1] (美) Reed K D, 著. 广域网 (第 7 版). 蒋先泽, 张文, 邹彤, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 谢希仁. 计算机网络 (第 6 版). 北京: 电子工业出版社, 2013.
- [3] 雷震甲. 网络工程师教程 (第 4 版). 北京: 清华大学出版社, 2014.
- [4] 刘化君. 计算机网络原理与技术 (第 2 版). 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [5] 刘化君, 等. 计算机网络与通信 (第 2 版). 北京: 高等教育出版社, 2011.
- [6] 刘化君. 综合布线系统 (第 3 版). 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [7] (美) Tanenbaum A S. Computer Networks (Fourth Edition). 北京: 清华大学出版社 (影印本), 2008.
- [8] 刘化君, 刘传清. 物联网技术. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [9] 刘传清, 刘化君. 无线传感网技术. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [10] (美) Rackley S, 著. 无线网络技术原理与应用. 吴怡, 朱晓荣, 宋铁成, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [11] 高泽华, 赵国安, 宁帆, 等. 宽带无线城域网-WiMAX 技术与应用. 北京: 人民邮电出版社, 2008.
- [12] Zhang Yan, Chen Hsiao-Hwa. 构建宽带无线城域网的移动 WiMAX 技术. 李赞, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [13] 沈鑫剡. 广域网原理、技术及实现. 北京: 人民邮电出版社, 2000.
- [14] 陈明. 计算机广域网络教程 (第 2 版). 北京: 清华大学出版社, 2008.